



(21)申請案號：103102747

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 01 月 24 日

(51)Int. Cl. : *G01N27/02 (2006.01)**H01L21/3065(2006.01)*

(30)優先權：2013/01/31 美國

13/756,390

(71)申請人：蘭姆研究公司(美國) LAM RESEARCH CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：微寇爾 小約翰 C VALCORE, JOHN C. JR. (US) ; 琳戴克 布萊佛 J LYNDAKER, BRADFORD J. (US)

(74)代理人：許峻榮

(56)參考文獻：

TW 201246366A

US 2012/0328771A1

審查人員：林佑霖

申請專利範圍項數：36 項 圖式數：21 共 94 頁

(54)名稱

使用模型化以決定與電漿系統有關的晶圓偏壓

USING MODELING TO DETERMINE WAFER BIAS ASSOCIATED WITH A PLASMA SYSTEM

(57)摘要

描述用於決定晶圓偏壓的系統和方法。該等方法其中一者包含偵測一產生器的輸出，以確定一產生器輸出的複電壓與電流(V&I)。該產生器係連接至一阻抗匹配電路，且該阻抗匹配電路係連接至一電漿腔室的一靜電夾頭(ESC)。該方法更包含：由該產生器輸出的複 V&I，決定在沿著介於該阻抗匹配電路的模型的輸出與該 ESC 的模型之間的一路徑的一點處的一預測複 V&I。該決定該預測複 V&I 的操作係使用至少部份該路徑的模型而加以執行。該方法包含使用該預測複 V&I 作為一函數的輸入，以將該預測複 V&I 映射成在該 ESC 的模型處的晶圓偏壓。

Systems and methods for determining wafer bias are described. One of the methods includes detecting output of a generator to identify a generator output complex voltage and current (V&I). The generator is coupled to an impedance matching circuit and the impedance matching circuit is coupled to an electrostatic chuck (ESC). The method further includes determining from the generator output complex V&I a projected complex V&I at a point along a path between an output of a model of the impedance matching circuit and a model of the ESC. The operation of determining of the projected complex V&I is performed using a model for at least part of the path. The method includes applying the projected complex V&I as an input to a function to map the projected complex V&I to a wafer bias value at the ESC model.

指定代表圖：

符號簡單說明：

351 . . . 方法

357、359、

361 . . . 操作

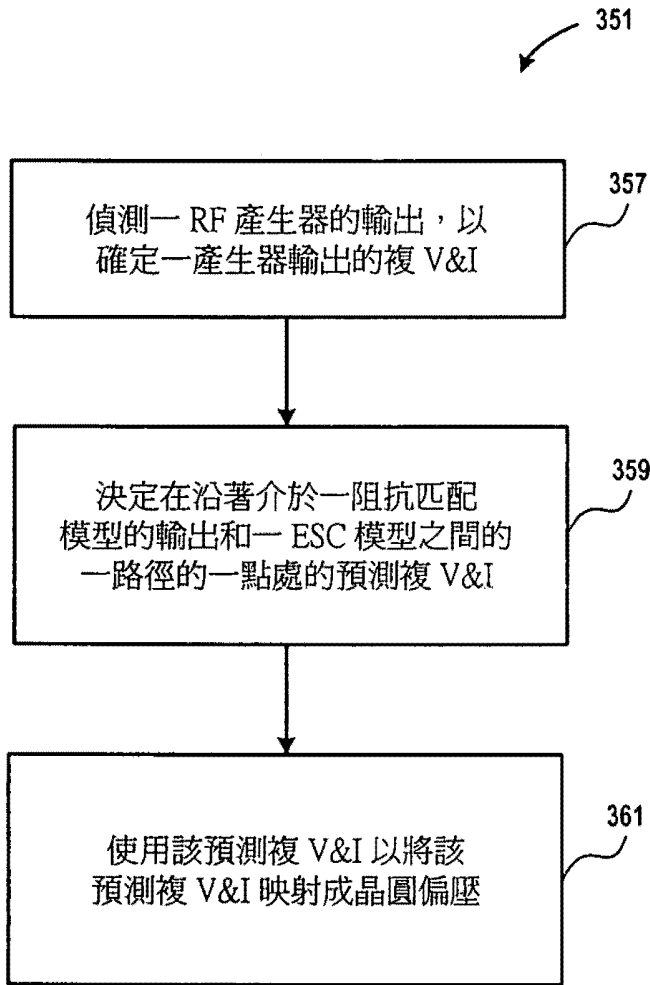


圖 15

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

使用模型化以決定與電漿系統有關的晶圓偏壓

USING MODELING TO DETERMINE WAFER BIAS ASSOCIATED WITH A PLASMA SYSTEM

【技術領域】

【0001】 本案實施例係關於使用模型化以決定與電漿系統有關的晶圓偏壓。

【先前技術】

【0002】 在一基於電漿的系統中，電漿係在一電漿腔室內產生，以在晶圓上執行各種操作，例如蝕刻、清潔、沉積等等。將該電漿加以監測和控制，以控制各種操作的效能。舉例來說，藉由監測電漿的電壓監測該電漿，且藉由控制供給至電漿腔室的射頻 (RF) 功率量控制該電漿。

【0003】 然而，使用電壓監測和控制該等操作的效能可能無法提供令人滿意的結果。此外，監測電壓可能是昂貴且費時的操作。

【0004】 在此背景下，產生本揭露內容所述的實施例。

【發明內容】

【0005】 本揭露內容的實施例提供設備、方法、及電腦程式，用於使用模型化以決定與一電漿系統相關聯的晶圓偏壓。應了解的是，本案實施例可以多種方式加以實現，例如製程、設備、系統、硬體件、或電腦可讀媒體上的方法。以下描述一些實施例。

【0006】 在各種實施例中，決定在一模型的一模型節點處的晶圓偏壓。該模型可為射頻 (RF) 傳輸線、阻抗匹配電路、或靜電夾頭 (ESC) 的模型。該模型的模型節點可為輸入、輸出、或該模型內的一點。藉由將一複電壓與電流從一 RF 產生器的輸出傳導至該模型節點而決定在該模型

節點處的複電壓與電流，決定在該模型節點處的晶圓偏壓。在該 RF 產生器輸出處的複電壓與電流，係利用一電壓與電流探測器加以量測，該電壓與電流探測器係根據一預設準則加以校準。在若干實施例中，在該模型節點處的晶圓偏壓，係一係數和在該模型節點處的電壓大小值的乘積、一係數和在該模型節點處的電流大小值的乘積、一係數和在該模型節點處的功率大小值的平方根的乘積、及一常數的和。

【0007】 在若干實施例中，描述一種方法，用於決定晶圓偏壓。該方法包含：偵測一產生器的輸出，以確定一產生器輸出的複電壓與電流 (V&I)。該產生器係連接至一阻抗匹配電路，且該阻抗匹配電路係經由一射頻 (RF) 傳輸線連接至一電漿腔室的一靜電夾頭 (ESC)。該方法更包含：由該產生器輸出的複 V&I，決定在沿著介於該阻抗匹配電路的模型的輸出與該 ESC 的模型之間的一路徑的一點處的一預測複 V&I。該決定該預測複 V&I 的操作係使用至少部份該路徑的模型而加以執行。至少部分該路徑的該模型表現沿著該路徑的物理元件的特徵。該方法包含使用該預測複 V&I 作為一函數的輸入，以將該預測複 V&I 映射成在該 ESC 的模型處的晶圓偏壓。

【0008】 在各種實施例中，描述一種方法，用於決定晶圓偏壓。該方法包含：接收在一個以上產生器的一個以上輸出處所測得的一個以上產生器輸出的複電壓與電流。該一個以上產生器係連接至一阻抗匹配電路，該阻抗匹配電路係經由一射頻 (RF) 傳輸線連接至一電漿腔室的一靜電夾頭 (ESC)。該方法更包含：由該一個以上複電壓與電流，決定在沿著介於該阻抗匹配電路的模型與該 ESC 的模型之間的路徑的一點處的預測複電壓與電流。該等模型表現沿著該路徑的物理元件的特徵。該方法包含藉由使用該預測複電壓與電流作為一函數的輸入，計算在該點處的晶圓偏壓。

【0009】 在若干實施例中，描述一種方法，用於決定晶圓偏壓。該方法包含：在一射頻 (RF) 產生器係經由一阻抗匹配電路連接至一電漿腔室時，確定在該 RF 產生器的一輸出處所測得的一第一複電壓與電流。該阻抗匹配電路具有連接至該 RF 產生器的該輸出的一輸入、及連接至一 RF 傳輸線的一輸出。該方法更包含：基於在該阻抗匹配電路中所定義的電元件，

產生一阻抗匹配模型。該阻抗匹配模型具有一輸入及一輸出。該阻抗匹配模型的輸入接收該第一複電壓與電流。該阻抗匹配模型亦具有一個以上構件。該方法包含：將該第一複電壓與電流，自該阻抗匹配模型的該輸入，經由該一個以上構件傳導至該阻抗匹配模型的輸出，以決定一第二複電壓與電流。該第二複電壓與電流係在該阻抗匹配模型的該輸出處。該方法包含：基於該第二複電壓與電流的電壓大小值、該第二複電壓與電流的電流大小值、及該第二複電壓與電流的功率大小值，決定一晶圓偏壓。

【0010】 在若干實施例中，描述一種電漿系統，用於決定晶圓偏壓。該電漿系統包含一個以上射頻 (RF) 產生器，用於產生一個以上 RF 訊號。該一個以上 RF 產生器係與一個以上電壓與電流探測器連結。該一個以上電壓與電流探測器係用以量測在該一個以上 RF 產生器的對應的一個以上輸出處一個以上複電壓與電流。該電漿系統更包含一阻抗匹配電路，連接至該一個以上 RF 產生器。該電漿系統亦包含一電漿腔室，經由一 RF 傳輸線連接至該阻抗匹配電路。該電漿腔室包含一靜電夾頭 (ESC)，該 ESC 係連接至該 RF 傳輸線。該電漿系統包含一處理器，其連接至該一個以上 RF 產生器。該處理器係用以：接收該一個以上複電壓與電流；及由該一個以上複電壓與電流，決定在沿著介於該阻抗匹配電路的模型和該 ESC 的模型之間的路徑的一點處的預測複電壓與電流。該等模型表現沿著該路徑的物理元件的特徵。該處理器係用以藉由使用該預測複電壓與電流作為一函數的輸入，計算在該點處的晶圓偏壓。

【0011】 上述實施例的一些優點，包含在不需要將一電壓探測器連接至一點（例如在 RF 傳輸線上的一節點、阻抗匹配電路的輸出、ESC 上的一點等等）的情況下，決定晶圓偏壓。在若干系統中，電壓探測器在該點處量測電壓，且所測得的電壓係用以決定在 ESC 處的偏壓。電壓探測器的取得係價格昂貴的。此外，當使用電壓探測器時，在該電漿系統中裝設一模組，該模組決定所測得的電壓係訊號或干擾。在判定所測得的電壓係訊號時，使用該電壓控制輸送至電漿系統的電漿腔室的 RF 功率，以抵銷在 ESC 處的偏壓。另一方面，在判定該電壓為干擾時，不使用該電壓控制 RF 功率。藉由該模組的決定操作係代價高昂且費時的。與此相比，本發明的晶圓偏

壓係在不需要將電壓探測器連接至該點的情況下而加以決定。不使用電壓探測器節省與該電壓探測器相關聯的成本以及與該模組相關聯的時間和精力。並且，電壓探測器在基板的製造、處理、清潔等等期間可能故障或可能無法運作。電壓與電流探測器符合預設準則且較電壓探測器準確。並且，基於使用電壓與電流探測器測得的複電壓與電流，決定晶圓偏壓。所量測和使用的複電壓與電流，與基於由電壓探測器所測得的電壓所決定的 ESC 偏壓相比，提供較佳的晶圓偏壓準確性。

【0012】 其他實施態樣，透過以下詳細說明及隨附圖式，將更為明白。

【圖式簡單說明】

【0013】 藉由參照以下說明結合隨附圖式，可最佳地理解實施例。

【0014】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 1 係一系統的方塊圖，該系統用於決定在一阻抗匹配模型的輸出處、一射頻（RF）傳輸模型的一部分的輸出處、及靜電夾頭（ESC）模型的輸出處的變數。

【0015】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 2 係一方法的流程圖，用於決定在 RF 傳輸模型部分的輸出處的複電壓與電流。

【0016】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 3A 係一系統的方塊圖，用以說明一阻抗匹配電路。

【0017】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 3B 係阻抗匹配模型的電路圖。

【0018】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 4 係用以說明一 RF 傳輸線的一系統的圖示。

【0019】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 5A 係用以說明 RF 傳輸線的電路模型的一系統的方塊圖。

【0020】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 5B 係用以說明 RF 傳輸模型的隧道與帶模型的電路的圖示。

【0021】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 5C 係用以說明一隧道與帶模型的電路的圖示。

【0022】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 6 係用以說明一圓筒

與 ESC 模型的電路的圖示。

【0023】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 7 係用以決定變數之包含濾波器的一電漿系統的方塊圖。

【0024】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 8A 係一系統的圖示，用以說明濾波器的一模型，其用以改善變數的準確性。

【0025】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 8B 係一系統的圖示，用以說明濾波器的一模型。

【0026】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 9 係一系統的方塊圖，該系統使用一電流與電壓探測器量測圖 1 的系統的 RF 產生器的輸出處的變數。

【0027】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 10 係一系統的方塊圖，其中電壓與電流探測器和通訊裝置係位於該 RF 產生器之外。

【0028】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 11 係一系統的方塊圖，其中利用使用圖 1 的系統所決定的變數值。

【0029】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 12A 係一圖形的圖示，該圖形描述在一 x MHz RF 產生器係開啓之時藉由使用探測器於圖 1 的系統之內的一節點處所測得的變數、與利用圖 2 的方法所決定的變數之間的相關性。

【0030】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 12B 係一圖形的圖示，該圖形描述在一 y MHz RF 產生器係開啓之時藉由使用一探測器於圖 1 的系統之內的一節點處所測得的變數、與利用圖 2 的方法所決定的變數之間的相關性。

【0031】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 12C 係一圖形的圖示，該圖形描述在一 z MHz RF 產生器係開啓之時藉由使用一探測器於圖 1 的系統之內的一節點處所測得的變數、與利用圖 2 的方法所決定的變數之間的相關性。

【0032】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 13 係一方法的流程圖，該方法用於決定在阻抗匹配模型、RF 傳輸模型、或 ESC 模型的一模型節點處的晶圓偏壓。

【0033】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 14 係狀態圖，描述用以產生晶圓偏壓的晶圓偏壓產生器。

【0034】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 15 係一方法的流程圖，用於決定在沿著介於阻抗匹配模型及 ESC 模型之間的路徑的一點處的晶圓偏壓。

【0035】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 16 係一系統的方塊圖，用於決定一模型的一節點處的晶圓偏壓。

【0036】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 17 係一方法的流程圖，用於決定在圖 1 的系統的一模型節點處的晶圓偏壓。

【0037】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 18 係一系統的方塊圖，用以說明藉由使用圖 13、圖 15、或圖 17 的方法而非使用一電壓探測器決定晶圓偏壓的優點。

【0038】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 19A 顯示實施例圖形，用以說明在 y 及 z MHz RF 產生器係開啓之時藉由使用一電壓探測器於圖 1 的電漿系統的一節點處所測得的變數、與使用圖 2、13、15、或 17 的方法所決定的在對應模型節點輸出處的變數之間的相關性。

【0039】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 19B 顯示實施例圖形，用以說明在 x 及 z MHz RF 產生器係開啓之時藉由使用一電壓探測器於圖 1 的電漿系統的一節點處所測得的變數、與使用圖 2、13、15、或 17 的方法所決定的在對應模型節點輸出處的變數之間的相關性。

【0040】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 19C 顯示實施例圖形，用以說明在 x 及 y MHz RF 產生器係開啓之時藉由使用一電壓探測器於圖 1 的電漿系統的一節點處所測得的變數、與使用圖 2、13、15、或 17 的方法所決定的在對應模型節點輸出處的變數之間的相關性。

【0041】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 20A 係一圖形的圖示，用以說明當 x MHz RF 產生器係開啓之時使用一感測器工具所測得的接線晶圓偏壓、利用圖 13、15、或 17 的方法所決定的模型晶圓偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間的相關性。

【0042】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 20 B 係一圖形的圖

示，用以說明當 y MHz RF 產生器係開啓之時使用一感測器工具所測得的接線晶圓偏壓、利用圖 13、15、或 17 的方法所決定的模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間的相關性。

【0043】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 20C 係實施例圖形的圖示，用以說明當 z MHz RF 產生器係開啓之時使用一感測器工具所測得的接線晶圓偏壓、利用圖 13、15、或 17 的方法所決定的模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間的相關性。

【0044】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 20D 係一圖形的圖示，用以說明當 x MHz 及 y MHz RF 產生器係開啓之時使用一感測器工具所測得的接線晶圓偏壓、利用圖 13、15、或 17 的方法所決定的模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間的相關性。

【0045】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 20E 係一圖形的圖示，用以說明當 x MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓之時使用一感測器工具所測得的接線晶圓偏壓、利用圖 13、15、或 17 的方法所決定的模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間的相關性。

【0046】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 20F 係一圖形的圖示，用以說明當 y MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓之時使用一感測器工具所測得的接線晶圓偏壓、利用圖 13、15、或 17 的方法所決定的模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間的相關性。

【0047】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 20G 係一圖形的圖示，該圖形說明當 x MHz、 y MHz、及 z MHz RF 產生器係開啓之時使用一感測器工具所測得的接線晶圓偏壓、利用圖 13、15、或 17 的方法所決定的模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間的相關性。

【0048】 根據本揭露內容中所述的一實施例，圖 21 係圖 1 的系統的主機系統的方塊圖。

【實施方式】

【0049】 以下實施例描述系統和方法，其使用模型以決定與電漿系統有關的晶圓偏壓。明顯的是，本案實施例可在沒有若干或全部這些特定細

節的情況下加以實施。另一方面，不詳細描述眾所周知的製程操作，以免不必要地混淆本案實施例。

【0050】 圖 1 係一系統 126 的實施例的方塊圖，該系統 126 用於在阻抗匹配模型 104 的輸出處、RF 傳輸模型 161 的一 RF 傳輸模型部分 173 的輸出處（例如模型節點 N1m）、及靜電夾頭（ESC）模型 125 的輸出處（例如模型節點 N6m）決定一變數，該 RF 傳輸模型 161 係 RF 傳輸線 113 的一個模型。變數的例子包含複電壓、複電流、複電壓與電流、複功率、晶圓偏壓等等。RF 傳輸線 113 具有一輸出，例如節點 N2。電壓與電流（VI）探測器 110 在 x MHz RF 產生器的一輸出處（例如節點 N3）測量複電壓與電流 V_x 、 I_x 、及 Φ_x ，例如第一複電壓與電流。應注意到的是， V_x 表示電壓大小， I_x 表示電流大小，且 Φ_x 表示 V_x 和 I_x 之間的相位。阻抗匹配模型 104 具有一輸出，例如一模型節點 N4m。

【0051】 此外，電壓與電流探測器 111 在 y MHz RF 產生器的一輸出處（例如節點 N5）測量複電壓與電流 V_y 、 I_y 、及 Φ_y 。應注意到的是， V_y 表示電壓大小， I_y 表示電流大小，且 Φ_y 表示 V_y 和 I_y 之間的相位。

【0052】 在若干實施例中，一節點係一裝置的輸入、一裝置的輸出、或該裝置內的一點。以下描述使用於此處的一裝置。

【0053】 x MHz 的例子包含 2 MHz、27 MHz、及 60 MHz。 y MHz 的例子包含 2 MHz、27 MHz、及 60 MHz。 x MHz 係不同於 y MHz。舉例來說，當 x MHz 係 2 MHz 時， y MHz 係 27 MHz 或 60 MHz。當 x MHz 係 27 MHz 時， y MHz 係 60 MHz。

【0054】 電壓與電流探測器 110 和 111 每一者的例子，包含符合預設準則的電壓與電流探測器。預設準則的例子，包含受到開發感測器標準之協會所遵守的一標準。預設準則的另一例子，包含國家標準技術研究所（NIST）標準。舉例來說，電壓與電流探測器 110 或 111 係根據 NIST 標準加以校準。在此實例中，電壓與電流探測器 110 或 111 係與開路、短路、或已知負載連接，以校準電壓與電流探測器 110 或 111 符合 NIST 標準。電壓與電流探測器 110 或 111 可首先與開路連接，接著與短路連接，且接著與已知負載連接，以基於 NIST 標準校準電壓與電流探測器 110。電壓與電流探

測器 110 或 111 可以任何順序與已知負載、開路、及短路連接，以根據 NIST 標準校準電壓與電流探測器 110 或 111。已知負載的例子包含 50 歐姆負載、100 歐姆負載、200 歐姆負載、靜負載、直流 (DC) 負載、電阻器等等。舉例來說，電壓與電流探測器 110 和 111 每一者係根據 NIST 可追蹤標準加以校準。

【0055】 電壓與電流探測器 110 係連接至 x MHz RF 產生器的輸出，例如節點 N3。 x MHz RF 產生器的輸出（例如節點 N3）係經由電纜 150 連接至阻抗匹配電路 114 的輸入 153。此外，電壓與電流探測器 111 係連接至 y MHz RF 產生器的輸出，例如節點 N5。 y MHz RF 產生器的輸出（例如節點 N5）經由電纜 152 連接至阻抗匹配電路 114 的另一輸入 155。

【0056】 阻抗匹配電路 114 的一個輸出（例如節點 N4）係連接至 RF 傳輸線 113 的輸入。RF 傳輸線 113 包含一 RF 傳輸線部分 169 及另一 RF 傳輸線部分 195。RF 傳輸線部分 169 的輸入，係 RF 傳輸線 113 的輸入。RF 傳輸線部分 169 的輸出（例如節點 N1）係連接至 RF 傳輸線部分 195 的輸入。RF 傳輸線部分 195 的輸出（例如節點 N2）係連接至電漿腔室 175。RF 傳輸線部分 195 的輸出係 RF 傳輸線 113 的輸出。RF 傳輸線部分 169 的例子，包含 RF 筒及 RF 帶。該 RF 筒係連接至該 RF 帶。RF 傳輸線部分 195 的例子包含一 RF 桿及/或用於支持電漿腔室 175 的一支持部，例如一圓筒等等。

【0057】 電漿腔室 175 包含一靜電夾頭 (ESC) 177、一上電極 179、及其他部件（未顯示），例如圍繞上電極 179 的一上介電環、圍繞該上介電環的一上電極延伸部、圍繞 ESC 177 的一下電極的一下介電環、圍繞該下介電環的一下電極延伸部、一上電漿排除區 (PEZ) 環、一下 PEZ 環等等。上電極 179 係位於 ESC 177 的對面且面向 ESC 177。一工件 131（例如半導體晶圓等等）係被支承於 ESC 177 的上表面 183。上表面 183 包含 ESC 177 的輸出 N6。工件 131 係置於輸出 N6 之上。在生產期間將各種製程執行於該工件 131 上，例如化學汽相沉積、清潔、沉積、噴鍍、蝕刻、離子佈植、光阻剝除等等的製程。例如特定用途積體電路 (ASIC)、可程式邏輯元件 (PLD) 等等的積體電路係形成於該工件 131 之上，且該等積體電路係用於

各種電子裝置，例如行動電話、平板電腦、智慧型手機、電腦、膝上型電腦、網路設備等等。上電極 179 和下電極每一者係由金屬構成，例如鋁、鋁合金、銅等等。

【0058】 在一個實施例中，上電極 179 包含一開口，連接至一中央氣體饋入部（未顯示）。該中央氣體饋入部從一氣體供應部（未顯示）接收一種以上製程氣體。製程氣體的例子包括含氧氣體，例如 O_2 。製程氣體的其他例子包含含氟氣體，例如四氟甲烷（ CF_4 ）、六氟化硫（ SF_6 ）、六氟乙烷（ C_2F_6 ）等等。上電極 179 係接地。ESC 177 係經由阻抗匹配電路 114 連接至 x MHz RF 產生器及 y MHz RF 產生器。

【0059】 當將製程氣體供應於上電極 179 及 ESC 177 之間，且當 x MHz RF 產生器及/或 y MHz RF 產生器經由阻抗匹配電路 114 及 RF 傳輸線 113 供應 RF 訊號至 ESC 177 之時，製程氣體被點燃而在電漿腔室 175 之內產生電漿。

【0060】 當 x MHz RF 產生器產生一 RF 訊號並將該 RF 訊號經由節點 N3、阻抗匹配電路 114、及 RF 傳輸線 113 提供至 ESC 177 之時，且當 y MHz 產生器產生一 RF 訊號並將該 RF 訊號經由節點 N5、阻抗匹配電路 114、及 RF 傳輸線 113 提供至 ESC 177 之時，電壓與電流探測器 110 測量在節點 N3 處的複電壓與電流，且電壓與電流探測器 111 測量在節點 N5 處的複電壓與電流。

【0061】 由電壓與電流探測器 110 和 111 所量測的複電壓與電流，自對應的電壓與電流探測器 110 和 111 經由對應的通訊裝置 185 和 189 提供至用於儲存的主機系統 130 的儲存硬體單元（HU）162。舉例來說，由電壓與電流探測器 110 所量測的複電壓與電流，經由通訊裝置 185 及電纜 191 提供至主機系統 130，並且，由電壓與電流探測器 111 所量測的複電壓與電流，經由通訊裝置 189 及電纜 193 提供至主機系統 130。通訊裝置的例子，包含：乙太網路裝置，其將資料轉換成乙太網路封包且將乙太網路封包轉換成資料；控制自動化技術乙太網路（EtherCAT, Ethernet for Control Automation Technology）裝置；串列介面裝置，其將資料串列傳送；平行介面裝置，其將資料平行傳送；通用串列匯流排（USB）介面裝置等等。

【0062】 主機系統 130 的例子包含電腦，例如桌上型電腦、膝上型電腦、平板電腦等等。舉例來說，主機系統 130 包含一處理器及儲存 HU 162。當使用於此處，一處理器可為一中央處理單元 (CPU)、一微處理器、一特定用途積體電路 (ASIC)、一可程式邏輯元件 (PLD) 等等。儲存 HU 的例子包含唯讀記憶體 (ROM)、隨機存取記憶體 (RAM)、或其組合。儲存 HU 可為快閃記憶體、容錯式磁碟陣列 (RAID)、硬碟等等。

【0063】 阻抗匹配模型 104 係儲存於儲存 HU 162 之內。阻抗匹配模型 104 具有與阻抗匹配電路 114 類似的特性，例如電容、電感、複功率、複電壓與電流等等。舉例來說，阻抗匹配模型 104 具有與阻抗匹配電路 114 之內相同數量的電容器及/或電感器，且該等電容器及/或電感器係以與阻抗匹配電路 114 之內相同的方式（例如串聯、並聯等等）彼此連接。舉例來說，當阻抗匹配電路 114 包含串聯於一電感器的一電容器時，阻抗匹配模型 104 亦包含與該電感器串聯的該電容器。

【0064】 舉例來說，阻抗匹配電路 114 包含一個以上電元件，且阻抗匹配模型 104 包含阻抗匹配電路 114 的一設計，例如電腦生成模型。該電腦生成模型可藉由一處理器基於經由一輸入硬體單元自一使用者所接收的輸入訊號加以產生。該等輸入訊號包含多個訊號，其係關於將電元件（例如電容器、電感器等等）何者包含進一模型，以及將該等電元件彼此連接的方式（例如串聯、並聯等等）。作為另一範例，阻抗匹配電路 114 包含硬體電元件以及該等電元件之間的硬體連接，且阻抗匹配模型 104 包含該等硬體電元件的軟體表示及該等硬體連接的軟體表示。又舉例來說，阻抗匹配模型 104 係使用軟體程式加以設計，且阻抗匹配電路 114 係製作於印刷電路板之上。當使用於此處，電元件可包含電阻器、電容器、電感器、電阻器之間的接線、電感器之間的接線、電容器之間的接線、及/或電阻器、電感器、及電容器的組合之間的接線。

【0065】 類似地，電纜模型 163 和電纜 150 具有類似的特性，且電纜模型 165 和電纜 152 具有類似的特性。舉例來說，電纜模型 163 的電感係與電纜 150 的電感相同。作為另一範例，電纜模型 163 係電纜 150 的電腦生成模型，且電纜模型 165 係電纜 152 的電腦生成模型。

【0066】 類似地，RF 傳輸模型 161 和 RF 傳輸線 113 具有類似的特性。舉例來說，RF 傳輸模型 161 具有與 RF 傳輸線 113 之內相同數量的電阻器、電容器及/或電感器，且該等電阻器、電容器及/或電感器係以與 RF 傳輸線 113 之內相同的方式（例如串聯、並聯等等）彼此連接。爲了進一步說明，當 RF 傳輸線 113 包含與一電感器並聯的一電容器時，RF 傳輸模型 161 亦包含與該電感器並聯的該電容器。作爲又另一範例，RF 傳輸線 113 包含一個以上電元件，且 RF 傳輸模型 161 包含 RF 傳輸線 113 的一設計，例如電腦生成模型。

【0067】 在若干實施例中，RF 傳輸模型 161 係一電腦生成阻抗變換，其包含計算構件（例如電容器、電感器、電阻器、其組合等等）的特性（例如電容、電阻、電感、其組合等等），以及決定該等構件之間的連接（串聯、並聯等等）。

【0068】 基於經由電纜 191 自電壓與電流探測器 110 所接收的複電壓與電流，以及阻抗匹配模型 104 之內構件（例如電感器、電容器等等）的特性（例如電容、電感等等），主機電腦 130 的處理器計算阻抗匹配模型 104 的輸出（例如模型節點 N4m）處的複電壓與電流 V 、 I 、和 Φ ，例如第二複電壓與電流。在模型節點 N4m 處的複電壓與電流係儲存於主機系統 130 的儲存 HU 162 及/或另一儲存 HU，例如光碟、快閃記憶體等等。複 V 、 I 、及 Φ 包含電壓大小 V 、電流大小 I 、及電壓和電流之間的相位 Φ 。

【0069】 阻抗匹配模型 104 的輸出係連接至 RF 傳輸模型 161 的輸入，RF 傳輸模型 161 係儲存於儲存硬體單元 162 之中。阻抗匹配模型 104 亦具有一輸入，例如節點 N3m，其係用以接收在節點 N3 處所量測的複電壓與電流。

【0070】 RF 傳輸模型 161 包含 RF 傳輸模型部分 173、另一 RF 傳輸模型部分 197、及輸出 N2m，其經由 ESC 模型 125 連接至模型節點 N6m。ESC 模型 125 係 ESC 177 的模型。舉例來說，ESC 模型 125 具有與 ESC 177 類似的特性。舉例來說，ESC 模型 125 具有與 ESC 177 相同的電感、電容、電阻、或其組合。

【0071】 RF 傳輸模型部分 173 的輸入，係 RF 傳輸模型 161 的輸入。

RF 傳輸模型部分 173 的輸出係連接至 RF 傳輸模型部分 197 的輸入。RF 傳輸模型部分 173 具有與 RF 傳輸線部分 169 類似的特徵，且 RF 傳輸模型部分 197 具有與 RF 傳輸線部分 195 類似的特徵。

【0072】 基於在模型節點 N4m 所測得的複電壓與電流，主機系統 130 的處理器計算 RF 傳輸模型 161 的 RF 傳輸模型部分 173 的輸出處（例如模型節點 N1m）的複電壓與電流 V 、 I 、和 Φ ，例如第三複電壓與電流。在模型節點 N1m 所決定的複電壓與電流，係儲存於主機系統 130 的儲存 HU 162 及/或另一儲存 HU，例如光碟、快閃記憶體等等。

【0073】 在一些實施例中，替代決定第三複電壓與電流或除了決定第三複電壓與電流之外，主機系統 130 的處理器，基於阻抗匹配模型 104 的輸出處的複電壓與電流，以及 RF 傳輸模型 161 的輸入與 RF 傳輸模型部分 173 之內的一點（例如一節點等等）之間構件的特性，計算 RF 傳輸模型部分 173 之內該點處的複電壓與電流，例如一中間複電壓與電流 V 、 I 、和 Φ 。

【0074】 在各種實施例中，替代決定第三複電壓與電流或除了決定第三複電壓與電流之外，主機系統 130 的處理器，基於阻抗匹配模型 104 的輸出處的複電壓與電流，以及 RF 傳輸模型 161 的輸入與 RF 傳輸模型部分 197 之內的一點（例如一節點等等）之間構件的特性，計算 RF 傳輸模型部分 197 之內該點處的複電壓與電流，例如一中間複電壓與電流 V 、 I 、和 Φ 。

【0075】 應注意的是，在若干實施例中，在阻抗匹配模型 104 的輸出處的複電壓與電流，係基於 x MHz RF 產生器的輸出處的複電壓與電流、電纜模型 163 的構件的特性、及阻抗匹配模型 104 的特性而加以計算。

【0076】 更應注意的是，雖然顯示二個產生器連接至阻抗匹配電路 114，在一個實施例中，任何數量的 RF 產生器（例如單一產生器、三個產生器等等）係經由一阻抗匹配電路連接至電漿腔室 175。舉例來說，2 MHz 產生器、27 MHz 產生器、及 60 MHz 產生器可經由一阻抗匹配電路連接至電漿腔室 175。舉例來說，雖然上述實施例係就使用在節點 N3 處所測得的複電壓與電流而加以描述，在各種實施例中，上述實施例亦可使用在節點 N5 處所測得的複電壓與電流。

【0077】 圖 2 係方法 102 實施例的流程圖，方法 102 用於決定在 RF

傳輸模型部分 173 (圖 1) 的輸出處的複電壓與電流。方法 102 係藉由主機系統 130 (圖 1) 的處理器加以執行。在操作 106 中，由儲存 HU 162 (圖 1) 之內確定在節點 N3 處所測得的複電壓與電流，例如第一複電壓與電流。舉例來說，決定第一複電壓與電流係接收自電壓與電流探測器 110 (圖 1)。作為另一範例，基於儲存於儲存 HU 162 (圖 1) 的電壓與電流探測器 110 的標識，決定第一複電壓與電流係與該標識相關聯。

【0078】 再者，在操作 107 中，阻抗匹配模型 104 (圖 1) 係基於阻抗匹配電路 114 (圖 1) 的電元件加以產生。舉例來說，阻抗匹配電路 114 的多個電元件之間的連接、以及該等電元件的特性，係由使用者經由與主機系統 130 連接的一輸入硬體單元，提供至主機系統 130 的處理器。在接收該等連接與該等特性時，處理器產生具有與阻抗匹配電路 114 的電元件相同特性的構件，且產生具有相同於該等電元件之間連接的該等構件之間的連接。

【0079】 阻抗匹配模型 104 的輸入 (例如節點 N3m) 接收第一複電壓與電流。舉例來說，主機系統 130 的處理器自儲存 HU 162 存取 (例如讀取等等) 第一複電壓與電流，且提供第一複電壓與電流至阻抗匹配模型 104 的輸入以處理該第一複電壓與電流。

【0080】 在操作 116 中，將第一複電壓與電流，由阻抗匹配模型 104 (圖 1) 的輸入 (例如節點 N3m (圖 1))，經由阻抗匹配模型 104 的一個以上構件，傳導至阻抗匹配模型 104 的輸出 (例如節點 N4m (圖 1))，以決定第二複電壓與電流，其係在阻抗匹配模型 104 的輸出處。舉例來說，參照圖 3B，當 2 MHz RF 產生器係開啓 (例如運轉的、通電、連接至如電漿系統 126 的阻抗匹配電路 104 之元件等等) 之時，基於電容器 253 的電容，基於電容器 C5 的電容，且基於在輸入 255 處所接收的第一複電壓與電流，決定在節點 251 (例如一中間節點) 處的複電壓與電流 V_{x1} 、 I_{x1} 、及 Φ_{x1} ，例如一中間複電壓與電流，其包含電壓大小 V_{x1} 、電流大小 I_{x1} 、及複電壓與電流之間的相位 Φ_{x1} 。此外，基於複電壓與電流 V_{x1} 、 I_{x1} 、及 Φ_{x1} ，且基於電感器 L3 的電感，決定在節點 257 的複電壓與電流 V_{x2} 、 I_{x2} 、及 Φ_{x2} 。複電壓與電流 V_{x2} 、 I_{x2} 、及 Φ_{x2} 包含電壓大小 V_{x2} 、電流大小 I_{x2} 、及電

壓和電流之間的相位 Φ_{x2} 。當 27 MHz RF 產生器和 60 MHz RF 產生器係關閉（例如非運轉的、斷電、分離於阻抗匹配電路 104 等等）之時，將複電壓與電流 V_2 、 I_2 、及 Φ_2 決定為在輸出 259 處的第二複電壓與電流，輸出 259 係阻抗匹配模型 104（圖 1）的輸出（例如模型節點 N4m（圖 1））的一個例子。複電壓與電流 V_2 、 I_2 、及 Φ_2 ，係基於複電壓與電流 V_{x2} 、 I_{x2} 、及 Φ_{x2} 以及電感器 L2 的電感而加以決定。複電壓與電流 V_2 、 I_2 、及 Φ_2 包含電壓大小 V_2 、電流大小 I_2 、及電壓和電流之間的相位 Φ_2 。

【0081】 類似地，當 27 MHz RF 產生器係開啓且 2 MHz 和 60 MHz RF 產生器係關閉之時，基於在節點 261 處所接收的複電壓與電流以及電感器 LPF2、電容器 C3、電容器 C4、及電感器 L2 的特性，決定在輸出 259 處的複電壓與電流 V_{27} 、 I_{27} 、及 Φ_{27} 。複電壓與電流 V_{27} 、 I_{27} 、及 Φ_{27} 包含電壓大小 V_{27} 、電流大小 I_{27} 、及電壓和電流之間的相位 Φ_{27} 。在節點 261 處所接收的複電壓與電流，係相同於在節點 N5（圖 1）處所測得的複電壓與電流。當 2 MHz 和 27 MHz RF 產生器二者係開啓且 60 MHz RF 產生器係關閉之時，複電壓與電流 V_2 、 I_2 、 Φ_2 、 V_{27} 、 I_{27} 、及 Φ_{27} 係第二複電壓與電流的例子。此外，類似地，當 60 MHz RF 產生器係開啓且 2 MHz 和 27 MHz RF 產生器係關閉時，在輸出 259 處的複電壓與電流 V_{60} 、 I_{60} 、及 Φ_{60} 係基於在節點 265 處所接收的複電壓與電流以及電感器 LPF1、電容器 C1、電容器 C2、電感器 L4、電容器 269、及電感器 L1 的特性而加以決定。複電壓與電流 V_{60} 、 I_{60} 、及 Φ_{60} 包含電壓大小 V_{60} 、電流大小 I_{60} 、及電壓和電流之間的相位 Φ_{60} 。當 2 MHz、27 MHz、及 60 MHz RF 產生器係開啓時，複電壓與電流 V_2 、 I_2 、 Φ_2 、 V_{27} 、 I_{27} 、 Φ_{27} 、 V_{60} 、 I_{60} 、及 Φ_{60} 係第二複電壓與電流的例子。

【0082】 在操作 117 中，RF 傳輸模型 161（圖 1）係基於 RF 傳輸線 113（圖 1）的電元件加以產生。舉例來說，RF 傳輸線 113 的電元件之間的連接、以及該等電元件的特性，係由使用者經由與主機系統 130 連接的一輸入裝置提供至主機系統 130 的處理器。在接收到該等連接和該等特性時，該處理器產生具有與 RF 傳輸線 113 的電元件相同特性的構件，且產生與該等電元件之間連接相同的該等構件之間連接。

【0083】 在操作 119 中，第二複電壓與電流係由 RF 傳輸模型 161 的輸入經由 RF 傳輸模型部分 173 的一個以上構件傳導至 RF 傳輸模型部分 173 的輸出（例如模型節點 N1m（圖 1）），以決定 RF 傳輸模型部分 173 的輸出處的第三複電壓與電流。舉例來說，參照圖 5B，當 2 MHz RF 產生器係開啓且 27 MHz 和 60 MHz RF 產生器係關閉之時，基於電感器 L_{tunnel} 的電感，基於電容器 C_{tunnel} 的電容，且基於複電壓與電流 V_2 、 I_2 、及 Φ_2 （圖 3B）（其為第二複電壓與電流的一個例子），決定在節點 293 處（例如一中間節點）的複電壓與電流 V_{x4} 、 I_{x4} 、及 Φ_{x4} ，例如一中間複電壓與電流。應注意的是， L_{tunnel} 係一 RF 隧道（RF tunnel）的電腦生成模型的電感，且 C_{tunnel} 係該 RF 隧道模型的電容。此外，基於複電壓與電流 V_{x4} 、 I_{x4} 、及 Φ_{x4} 以及基於電感器 L_{strap} 的電感，決定一隧道與帶模型 210 的輸出 297 處的複電壓與電流 V_{21} 、 I_{21} 、及 Φ_{21} 。輸出 297 係 RF 傳輸模型部分 173（圖 1）的輸出（例如模型節點 N1m（圖 1））的例子。應注意的是， L_{strap} 係 RF 帶的電腦生成模型的電感。當 2 MHz RF 產生器係開啓且 27 MHz 和 60 MHz RF 產生器係關閉時，將複電壓與電流 V_{21} 、 I_{21} 、及 Φ_{21} 決定為在輸出 297 處的第三複電壓與電流。

【0084】 類似地，當 27 MHz RF 產生器係開啓且 2 MHz 和 60 MHz RF 產生器係關閉時，基於在輸出 259 處的複電壓與電流 V_{27} 、 I_{27} 、及 Φ_{27} （圖 3B）以及電感器 L_{tunnel} 、電容器 C_{tunnel} 、及電感器 L_{strap} 的特性，決定在輸出 297 處的複電壓與電流 V_{271} 、 I_{271} 、及 Φ_{271} 。當 2 MHz 和 27 MHz RF 產生器皆開啓且 60 MHz RF 產生器係關閉時，複電壓與電流 V_{21} 、 I_{21} 、 Φ_{21} 、 V_{271} 、 I_{271} 、 Φ_{271} 係第三複電壓與電流的一個例子。

【0085】 此外，類似地，當 60 MHz RF 產生器係通電且 2 MHz 和 27 MHz RF 產生器係斷電時，基於在節點 259 處所接收的複電壓與電流 V_{60} 、 I_{60} 、及 Φ_{60} （圖 3B）以及電感器 L_{tunnel} 、電容器 C_{tunnel} 、及電感器 L_{strap} 的特性，決定在輸出 297 處的複電壓與電流 V_{601} 、 I_{601} 、及 Φ_{601} 。當 2 MHz、27 MHz、及 60 MHz RF 產生器係開啓時，複電壓與電流 V_{21} 、 I_{21} 、 Φ_{21} 、 V_{271} 、 I_{271} 、 Φ_{271} 、 V_{601} 、 I_{601} 、及 Φ_{601} 係第三複電壓與電流的一個例子。方法 102 在操作 119 之後結束。

與電容器具有其他數值。舉例來說，該 20 nH 電感器具有介於 15 和 20 nH 之間或介於 20 和 25 nH 之間的電感。作為另一範例，隧道與帶模型 302 的二個以上電感器具有不同的電感。作為又另一範例，該 15 pF 電容器具有介於 8 pF 和 25 pF 之間的電容，該 31 pF 電容器具有介於 15 pF 和 45 pF 之間的電容，該 15.5 pF 電容器具有介於 9 pF 和 20 pF 之間的電容，且該 18.5 pF 電容器具有介於 10 pF 和 27 pF 之間的電容。

【0096】 在各種實施例中，將任何數量的電感器包含於隧道與帶模型 302 之中，且將任何數量的電容器包含於隧道與帶模型 302 之中。

【0097】 圖 6 係電路 310 的實施例的圖示，用以描述一圓筒與 ESC 模型 312，其為電感器 314 和電容器 316 的組合。圓筒與 ESC 模型 312 包含一圓筒模型及一 ESC 模型，該 ESC 模型係 ESC 模型 125（圖 1）的一個例子。該圓筒模型係 RF 傳輸模型 161（圖 1）的 RF 傳輸模型部分 197（圖 1）的一個例子。該圓筒與 ESC 模型 312 具有與 RF 傳輸線部分 195 和 ESC 177（圖 1）之組合類似的特性。舉例來說，圓筒與 ESC 模型 312 具有與 RF 傳輸線部分 195 和 ESC 177 的組合相同的電阻。作為另一範例，圓筒與 ESC 模型 312 具有與 RF 傳輸線部分 195 和 ESC 177 的組合相同的電感。作為又另一範例，圓筒與 ESC 模型 312 具有與 RF 傳輸線部分 195 和 ESC 177 的組合相同的電容。作為又另一範例，圓筒與 ESC 模型 312 具有與 RF 傳輸線部分 195 和 ESC 177 的組合相同的電感、電阻、電容、或其組合。

【0098】 圓筒與 ESC 模型 312 係經由節點 318 連接至隧道與帶模型 302。節點 318 係模型節點 N1m（圖 1）的一個例子。

【0099】 應注意的是，在若干實施例中，在圓筒與 ESC 模型 312 之中使用具有不同於 44 毫亨利（mH）之電感的電感器。舉例來說，使用具有由 35 mH 至 43.9 mH 或由 45.1 mH 至 55 mH 之電感的電感器。在各種實施例中，使用具有不同於 550 pF 之電容的電容器。舉例來說，替代 550 pF 的電容器，使用具有介於 250 和 550 pF 之間或介於 550 和 600 pF 之間的電容的電容器。

【0100】 主機系統 130（圖 1）的處理器計算阻抗匹配模型 172、隧道與帶模型 302、及圓筒與 ESC 模型 312 的組合的合成阻抗，例如總阻抗

等等。主機系統 130 的處理器，使用在模型節點 318 處所決定的複電壓與電流及合成阻抗作為輸入，以計算在節點 N6m 處的複電壓和阻抗。應注意的是，圓筒與 ESC 模型 312 的輸出係模型節點 N6m。

【0101】 圖 7 係用於決定一變數的系統 200 的實施例的方塊圖。系統 200 包含一電漿腔室 135，其更包含 ESC 201 且具有一輸入 285。電漿腔室 135 係電漿腔室 175（圖 1）的一個例子，且 ESC 201 係 ESC 177（圖 1）的一個例子。ESC 201 包含加熱構件 198。並且，ESC 201 係以邊緣環（ER）194 加以圍繞。ER 194 包含加熱構件 196。在一個實施例中，ER 194 促成均勻的蝕刻率、以及在由 ESC 201 所支持的工件 131 的邊緣附近之降低的蝕刻率漂移。

【0102】 電源供應器 206 經由濾波器 208 提供功率至加熱構件 196 以加熱該加熱構件 196，且電源供應器 204 經由濾波器 202 提供功率至加熱構件 198 以加熱該加熱構件 198。在一個實施例中，單一電源供應器提供功率至加熱構件 196 和 198 二者。濾波器 208 過濾從電源供應器 206 所接收的一功率訊號的預定頻率，且濾波器 202 過濾從電源供應器 204 所接收的一功率訊號的預定頻率。

【0103】 加熱構件 198 係藉由接收自電源供應器 204 的功率訊號加熱，以將 ESC 201 的電極維持於所期望的溫度，俾以進一步將電漿腔室 135 之內的環境維持於所期望的溫度。此外，加熱構件 196 係藉由接收自電源供應器 206 的功率訊號加熱，以將 ER 194 維持於所期望的溫度，俾以進一步將電漿腔室 135 內的環境維持於所期望的溫度。

【0104】 應注意的是，在一個實施例中，在 ER 194 和 ESC 201 包含任意數量的加熱構件及任何類型的加熱構件。舉例來說，ESC 201 包含電感加熱構件或金屬板。在一個實施例中，ESC 201 和 ER 194 的每一者包含一個以上冷卻構件（例如容許冷水通過的一條以上的管等等），以將電漿腔室 135 維持於所期望的溫度。

【0105】 更應注意的是，在一個實施例中，系統 200 包含任何數量的濾波器。舉例來說，電源供應器 204 和 206 係經由單一濾波器連接至 ESC 201 和 ER 194。

【0106】 圖 8A 係系統 217 的實施例的圖示，用以說明濾波器 202 和 208（圖 7）的模型，其用以改善變數的準確性。系統 217 包含經由圓筒模型 211 連接至模型 216 的隧道與帶模型 210，模型 216 包含濾波器 202 和 208 的電容器和/或電感器、以及其間的連接。模型 216 係儲存於儲存 HU 162（圖 1）及/或其他儲存 HU 之內。模型 216 的電容器及/或電感器，係以一方式（例如並聯方式、串聯方式、其組合等等）彼此連接。模型 216 代表濾波器 202 和 208 的電容及/或電感。

【0107】 此外，系統 217 包含圓筒模型 211，其係 RF 桿 199（圖 4）及支持部 146（圖 4）的電腦生成模型。圓筒模型 211 具有與 RF 桿 199 和支持部 146 的電元件類似的特性。圓筒模型 211 包含一個以上電容器、一個以上電感器、該等電感器之間的連接、該等電容器之間的連接、及/或該等電容器和電感器之組合之間的連接。

【0108】 主機系統 130（圖 1）的處理器計算模型 216、隧道與帶模型 210、及圓筒模型 211 的合成阻抗，例如總阻抗等等。該合成阻抗提供在節點 N2m 處的複電壓和阻抗。在決定節點 N2m 處的變數之操作包含模型 216 和隧道與帶模型 210 的情況下，變數的準確性受到改善。應注意的是，模型 216 的輸出係模型節點 N2m。

【0109】 圖 8B 係系統 219 之實施例的圖示，用以說明用於改善變數準確性的濾波器 202 和 208（圖 7）的模型。系統 219 包含隧道與帶模型 210 及模型 218，模型 218 係與隧道與帶模型 210 並聯連接。模型 218 係模型 216（圖 8A）的一個例子。模型 218 包含一電感器 Lfilter，其表示濾波器 202 和 208 的合成電感。模型 218 更包含電容器 Cfilter，其表示濾波器 202 和 208 的目標（directed）合成電容。

【0110】 圖 9 係系統 236 的實施例的方塊圖，系統 236 用於使用電壓與電流探測器 238 量測 RF 產生器 220 的輸出 231 處的變數。輸出 231 係節點 N3（圖 1）或節點 N5（圖 1）的一個例子。RF 產生器 220 係 x MHz 產生器或 y MHz 產生器（圖 1）的一個例子。主機系統 130 產生具有二個以上狀態的數位脈衝訊號 213，且提供該數位脈衝訊號 213 至數位訊號處理器（DSP）226。在一個實施例中，該數位脈衝訊號 213 係電晶體電晶體邏輯

(TTL) 訊號。該等狀態的範例包含開狀態和關狀態、具有數位值 1 的狀態和具有數位值 0 的狀態、高狀態和低狀態等等。

【0111】 在另一實施例中，替代主機系統 130，使用時脈振盪器（例如晶體振盪器）產生類比時脈訊號，其藉由一類比至數位轉換器轉換成與數位脈衝訊號 213 類似的數位訊號。

【0112】 數位脈衝訊號 213 係傳送至 DSP 226。DSP 226 接收數位脈衝訊號 213 且辨識該數位脈衝訊號 213 的狀態。舉例來說，DSP 226 判定數位脈衝訊號 213 在第一組時間段期間具有一第一量值，例如數值 1、高狀態量值等等，且在第二組時間段期間具有一第二量值，例如數值 0、低狀態量值等等。DSP 226 判定，數位脈衝訊號 213 在第一組時間段期間具有狀態 S1 且在第二組時間段期間具有狀態 S0。狀態 S0 的例子包含低狀態、具有數值 0 的狀態、及關狀態。狀態 S1 的例子包含高狀態、具有數值 1 的狀態、及開狀態。作為又另一範例，DSP 226 將數位脈衝訊號 213 的量值與一預儲存數值比較，以判別數位脈衝訊號 213 的量值在第一組時間段期間大於該預儲存數值，以及在第二組時間段期間該數位脈衝訊號 213 的狀態 S0 時的量值不大於該預儲存數值。在使用時脈振盪器的實施例中，DSP 226 自時脈振盪器接收一類比時脈訊號，轉換該類比訊號為數位形式，且接著辨識二個狀態 S0 和 S1。

【0113】 當將一狀態辨識成 S1，DSP 226 將功率值 P1 及/或頻率值 F1 提供至參數控制部 222。此外，當將該狀態辨識成 S0，DSP 226 將功率值 P0 及/或頻率值 F0 提供至參數控制部 224。用以調整頻率的參數控制部的一個例子，包含自動頻率調諧器（AFT）。

【0114】 應注意的是，參數控制部 222、參數控制部 224、及 DSP 226 係控制系統 187 的部分。舉例來說，參數控制部 222 及參數控制部 224 係邏輯塊，例如調整迴圈，其係由 DSP 226 所執行的電腦程式的部分。在若干實施例中，電腦程式係包含在非暫時性電腦可讀媒體之內，例如一儲存 HU。

【0115】 在一個實施例中，替代參數控制部，使用一控制器，例如硬體控制器、ASIC、PLD 等等。舉例來說，使用硬體控制器取代參數控制部

電流探測器 238 和通訊裝置 233 係位於 RF 產生器 220 之外。在圖 1 中，電壓與電流探測器 110 係位於 x MHz RF 產生器之內以測量在 x MHz RF 產生器的輸出處的變數。電壓與電流探測器 238 係位於 RF 產生器 220 之外以測量在 RF 產生器 220 的輸出 231 處的變數。電壓與電流探測器 238 係關聯於（例如連接至）RF 產生器 220 的輸出 231。

【0127】 圖 11 係系統 128 的實施例的方塊圖，在系統 128 中使用藉由圖 1 的系統 126 所決定的變數值。系統 128 包含 m MHz RF 產生器、 n MHz RF 產生器、阻抗匹配電路 115、RF 傳輸線 287、及電漿腔室 134。電漿腔室 134 可類似於電漿腔室 175。

【0128】 應注意的是，在一個實施例中，圖 1 的 x MHz RF 產生器係類似 m MHz RF 產生器，且圖 1 的 y MHz RF 產生器係類似 n MHz RF 產生器。舉例來說， x MHz 係等於 m MHz 且 y MHz 係等於 n MHz。作為另一範例， x MHz 產生器和 m MHz 產生器具有類似的頻率，且 y MHz 產生器和 n MHz 產生器具有類似的頻率。類似頻率的例子係當 x MHz 係在 m MHz 頻率的一窗口之內（例如 kHz 或 Hz 之內）。在若干實施例中，圖 1 的 x MHz RF 產生器係不類似於 m MHz RF 產生器，且圖 1 的 y MHz RF 產生器係不類似於 n MHz RF 產生器。

【0129】 更要注意的是，在各種實施例中，在 m MHz 及 n MHz RF 產生器每一者中，使用與在 x MHz 及 y MHz RF 產生器每一者中所使用不同類型的感測器。舉例來說，在 m MHz RF 產生器中使用不遵循 NIST 標準的感測器。作為另一範例，在 m MHz RF 產生器中使用僅量測電壓的電壓感測器。

【0130】 更應注意的是，在一個實施例中，阻抗匹配電路 115 係類似於阻抗匹配電路 114（圖 1）。舉例來說，阻抗匹配電路 114 的阻抗係與阻抗匹配電路 115 的阻抗相同。作為另一範例，阻抗匹配電路 115 的阻抗係在阻抗匹配電路 114 的一阻抗窗口之內（例如 10-20%之內）。在若干實施例中，阻抗匹配電路 115 係不類似於阻抗匹配電路 114。

【0131】 阻抗匹配電路 115 包含電元件，例如電感器、電容器等等，以將連接至阻抗匹配電路 115 的功率源的阻抗與連接至阻抗匹配電路 115

之負載的阻抗加以匹配。舉例來說，阻抗匹配電路 115 將連接至阻抗匹配電路 115 的來源阻抗（例如 m MHz RF 產生器、n MHz RF 產生器、及連接該 m MHz 和 n MHz RF 產生器至阻抗匹配電路 115 的電纜等等之組合），與負載的阻抗（例如電漿腔室 134 及 RF 傳輸線 287 等等之組合）匹配。

【0132】 應注意的是，在一個實施例中，RF 傳輸線 287 係類似於 RF 傳輸線 113（圖 1）。舉例來說，RF 傳輸線 287 的阻抗係與 RF 傳輸線 113 的阻抗相同。作為另一範例，RF 傳輸線 287 的阻抗係在 RF 傳輸線 113 的一阻抗窗口之內（例如 10-20%之內）。在各種實施例中，RF 傳輸線 287 係不類似於 RF 傳輸線 113。

【0133】 電漿腔室 134 包含 ESC 192、上電極 264、及其他部件（未顯示），例如圍繞上電極 264 的上介電環、圍繞該上介電環的上電極延伸部、圍繞 ESC 192 的下電極的下介電環、圍繞下介電環的下電極延伸部、上電漿排除區（PEZ）環、下 PEZ 環等等。上電極 264 係位於 ESC 192 的對面且面向 ESC 192。一工件 262（例如半導體晶圓等等）係被支承於 ESC 192 的上表面 263。上電極 264 與 ESC 192 的下電極每一者係由金屬製成，例如鋁、鋁合金、銅等等。

【0134】 在一個實施例中，上電極 264 包含一開口，連接至一中央氣體饋入部（未顯示）。該中央氣體饋入部從一氣體供應部（未顯示）接收一種以上製程氣體。上電極 264 係接地。ESC 192 係經由阻抗匹配電路 115 連接至 m MHz RF 產生器及 n MHz RF 產生器。

【0135】 當將製程氣體供應於上電極 264 及 ESC 192 之間，且當 m MHz RF 產生器及/或 n MHz RF 產生器經由阻抗匹配電路 115 供應功率至 ESC 192 之時，製程氣體被點燃而在電漿腔室 134 之內產生電漿。

【0136】 應注意的是，系統 128 不具有探測器（例如計量工具、電壓與電流探測器、電壓探測器等等）量測於阻抗匹配電路 115 的輸出 283 處、在 RF 傳輸線 287 上的一點、或在 ESC 192 處的變數。在模型節點 N1m、N2m、N4m、及 N6m 處的變數值係用以決定系統 128 是否如所期望的運作。

【0137】 在各種實施例中，系統 128 不具有晶圓偏壓感測器（例如原位直流（DC）探測器讀取銷）以及用以量測於 ESC 192 處的晶圓偏壓的相

關硬體。不使用晶圓偏壓感測器及相關硬體節省成本。

【0138】 亦應注意的是，在一個實施例中，系統 128 包含連接至阻抗匹配電路的任何數量的 RF 產生器。

【0139】 圖 12A、12B、及 12C 係實施例圖形 268、272、及 275 的圖示，該等圖形描述藉由電壓探測器於系統 126（圖 1）之內阻抗匹配電路 114（圖 1）的輸出（例如節點 N4）處所測得的電壓（例如均方根（RMS）電壓、峰值電壓等等）、與利用方法 102（圖 2）所決定的對應模型節點輸出處（例如節點 N4m）的電壓（例如峰值電壓等等）之間的相關性。此外，圖 12A、12B、及 12C 係實施例圖形 270、274、及 277 的圖示，該等圖形描述藉由電流探測器在系統 126（圖 1）的輸出處（例如節點 N4）所測得的電流（例如均方根（RMS）電流等等）、與利用方法 102（圖 2）所決定的在對應輸出處（例如節點 N4m）的電流（例如 RMS 電流等等）之間的相關性。

【0140】 利用方法 102 所決定的電壓係標繪於各圖形 268、272、及 275 之中的 x 軸之上，且利用電壓探測器所量測的電壓係標繪於各圖形 268、272、及 275 之中的 y 軸之上。類似地，利用方法 102 所決定的電流係標繪於各圖形 270、274、及 277 之中的 x 軸之上，且利用電流探測器所決定的電流係標繪於各圖形 270、274、及 277 之中的 y 軸之上。

【0141】 在 x MHz RF 產生器係開啓且 y MHz RF 產生器及 z MHz RF 產生器（例如 60 MHz RF 產生器）係關閉的情況下，將電壓標繪在圖形 268 之中。此外，在 y MHz RF 產生器係開啓且 x MHz RF 產生器及 z MHz RF 產生器係關閉的情況下，將電壓標繪在圖形 272 之中。並且，在 z MHz RF 產生器係開啓且 x MHz RF 產生器及 y MHz RF 產生器係關閉的情況下，將電壓標繪在圖形 275 之中。

【0142】 類似地，在 x MHz RF 產生器係開啓且 y MHz RF 產生器及 z MHz RF 產生器係關閉的情況下，將電流標繪在圖形 270 之中。此外，在 y MHz RF 產生器係開啓且 x MHz RF 產生器及 z MHz RF 產生器係關閉的情況下，將電流標繪在圖形 274 之中。並且，在 z MHz RF 產生器係開啓且 x MHz RF 產生器及 y MHz RF 產生器係關閉的情況下，將電流標繪在圖形

277 之中。

【0143】 在圖形 268、272、及 275 每一者之中可觀察到，在該圖形的 y 軸所標繪的電壓與該圖形的 x 軸上所標繪的電壓之間存在一近似線性相關性。類似地，在圖形 270、274、及 277 每一者之中可觀察到，在 y 軸所標繪的電流與在 x 軸上所標繪的電流之間存在一近似線性相關性。

【0144】 圖 13 係方法 340 實施例的流程圖，方法 340 用於決定在電漿系統 126 (圖 1) 的一模型節點 (例如模型節點 N4m、模型節點 N1m、模型節點 N2m、模型節點 N6m 等等) 處的晶圓偏壓。應注意的是，在若干實施例中，晶圓偏壓係由在電漿腔室 175 (圖 1) 之內所產生的電漿所產生的直流 (DC) 電壓。在這些實施例中，晶圓偏壓係存在於 ESC 177 (圖 1) 的一表面 (例如上表面 183) 及/或工件 131 (圖 1) 的一表面 (例如上表面)。

【0145】 更應注意的是，模型節點 N1m 及 N2m 係在 RF 傳輸模型 161 (圖 1) 之上，且模型節點 N6m 係在 ESC 模型 125 (圖 1) 之上。方法 340 係由主機系統 130 (圖 1) 的處理器所執行。在方法 340 之中，執行操作 106。

【0146】 此外，在操作 341 之中，產生對應的一個以上裝置 (例如阻抗匹配電路 114、RF 傳輸線 113、ESC 177、其組合等等) 的一個以上模型，例如阻抗匹配模型 104、RF 傳輸模型 161、ESC 模型 125 (圖 1)、其組合等等。舉例來說，產生 ESC 模型 125，其具有與 ESC 177 (圖 1) 類似的特性。

【0147】 在操作 343 中，在操作 106 中所確定的複電壓與電流，係經由一個以上模型的一個以上構件加以傳導，以決定在該一個以上模型的輸出處的複電壓與電流。舉例來說，第二複電壓與電流係由第一複電壓與電流決定。作為另一範例，第二複電壓與電流係由第一複電壓與電流決定，且第三複電壓與電流係由第二複電壓與電流決定。作為又另一範例，第二複電壓與電流係由第一複電壓與電流決定，第三複電壓與電流係由第二複電壓與電流決定，且第三複電壓與電流係經由 RF 傳輸模型 161 (圖 1) 的 RF 傳輸模型部分 197 加以傳導，以決定在模型節點 N2m 處的第四複電壓與電流。在此範例中，第四複電壓與電流係藉由將第三複電壓與電流傳導通過 RF 傳輸模型部分 197 的構件的阻抗而加以決定。作為又另一範例，RF

傳輸模型 161 提供由主機系統 130 的處理器所執行的一代數轉移函數，以將在一個以上 RF 產生器的一個以上輸出處所測得的複電壓與電流轉移至沿著 RF 傳輸模型 161 的一電節點，例如模型節點 N1m、模型節點 N2m 等等。

【0148】 作為操作 343 的另一範例，第二複電壓與電流係由第一複電壓與電流加以決定，第三複電壓與電流係由第二複電壓與電流加以決定，第四複電壓與電流係由第三複電壓與電流加以決定，且第四複電壓與電流係經由 ESC 模型 125 加以傳導，以決定在模型節點 N6m 處的第五複電壓與電流。在此範例中，藉由將第四複電壓與電流傳導通過 ESC 模型 125 的構件（例如電容器、電感器等等）的阻抗，決定第五複電壓與電流。

【0149】 在操作 342 中，基於在一個以上模型的輸出處的複電壓與電流的電壓大小、在該輸出處的複電壓與電流的電流大小、及在該輸出處的複電壓與電流的功率大小，決定在該輸出處的晶圓偏壓。舉例來說，基於第二複電壓與電流的電壓大小、第二複電壓與電流的電流大小、及第二複電壓與電流的功率大小，決定晶圓偏壓。為進一步說明，當 x MHz RF 產生器係開啓且 y MHz 和 z MHz RF 產生器係關閉時，主機系統 130（圖 1）的處理器將模型節點 N4m（圖 1）處的晶圓偏壓決定為第一乘積、第二乘積、第三乘積、及一常數的和。在這個例子中，第一乘積係第一係數和第二複電壓與電流的電壓大小的乘積，第二乘積係第二係數和第二複電壓與電流的電流大小的乘積，且第三乘積係第三係數的平方根、和第二複電壓與電流的功率大小的平方根之乘積。

【0150】 舉例來說，功率大小係所輸送功率的功率大小，所輸送功率係由主機系統 130 的處理器決定為前向功率和反射功率的差。前向功率係由系統 126（圖 1）的一個以上 RF 產生器供應至電漿腔室 175（圖 1）的功率。反射功率係由電漿腔室 175 朝向系統 126（圖 1）的一個以上 RF 產生器反射回來的功率。舉例來說，複電壓與電流的功率大小係由主機系統 130 的處理器決定為複電壓與電流的電流大小和複電壓與電流的電壓大小的乘積。此外，用以決定晶圓偏壓的係數和常數每一者係一正數或一負數。作為決定晶圓偏壓的另一範例，當 x MHz RF 產生器係開啓且 y MHz 和 z MHz

RF 產生器係關閉之時，在一模型節點的晶圓偏壓係表示為 $ax \cdot V_x + bx \cdot I_x + cx \cdot \sqrt{P_x} + dx$ ，其中「 ax 」係第一係數，「 bx 」係第二係數，「 dx 」係常數，「 V_x 」係在模型節點處的複電壓與電流的電壓大小，「 I_x 」係在模型節點處的複電壓與電流的電流大小，且「 P_x 」係在模型節點處的複電壓與電流的功率大小。應注意的是，「 $\sqrt{\quad}$ 」係平方根運算，其由主機系統 130 的處理器所執行。在若干實施例中，功率大小 P_x 係電流大小 I_x 和電壓大小 V_x 的乘積。

【0151】 在各種實施例中，用以決定晶圓偏壓的係數，係由主機系統 130（圖 1）的處理器基於一預測（projection）方法加以決定。在該預測方法中，一晶圓偏壓感測器（例如晶圓偏壓銷等等）量測第一時間的 ESC 177 的表面（例如上表面 183（圖 1））上的晶圓偏壓。此外，在該預測方法中，基於在一 RF 產生器的輸出處所測得的複電壓與電流，決定電漿系統 126 之內的一模型節點處的電壓大小、電流大小、及功率大小。舉例來說，第一時間之節點 N3（圖 1）處所測得的複電壓與電流，由主機系統 130 的處理器傳送至一模型節點（例如模型節點 N4m、模型節點 N1m、模型節點 N2m、或模型節點 N6m（圖 1）等等），以決定第一時間之該模型節點處的複電壓與電流。電壓大小與電流大小係由主機系統 130 的處理器自第一時間的該模型節點處的複電壓與電流加以抽取。此外，功率大小係由主機系統 130 的處理器計算為第一時間之電流大小和電壓大小的乘積。

【0152】 類似地，在此範例中，在節點 N3 處測得一個以上額外時間的複電壓與電流，且傳送所測得的複電壓與電流，以決定該一個以上額外時間於模型節點（例如模型節點 N4m、模型節點 N1m、模型節點 N2m、模型節點 N6m 等等）的複電壓與電流。並且，對於該一個以上額外時間，將電壓大小、電流大小、及功率大小由所決定的該一個以上額外時間的複電壓與電流加以抽取。一數學函數（例如部分最小平方、線性回歸等等）係由主機系統 130 的處理器應用於對於第一時間和該一個以上額外時間所取得的電壓大小、電流大小、功率大小、及所測得的晶圓偏壓，以決定係數 ax 、 bx 、 cx 、及常數 dx 。

【0153】 作為操作 342 的另一範例，在 y MHz RF 產生器係開啓且 x

MHz 和 z MHz RF 產生器係關閉之時，將晶圓偏壓決定為 $a_y \cdot V_y + b_y \cdot I_y + c_y \cdot \sqrt{P_y} + d_y$ ，其中「 a_y 」係一係數，「 b_y 」係一係數，「 d_y 」係常數，「 V_y 」係第二複電壓與電流的電壓大小，「 I_y 」係第二複電壓與電流的電流大小，且「 P_y 」係第二複電壓與電流的功率大小。功率大小 P_y 係電流大小 I_y 和電壓大小 V_y 的乘積。作為操作 342 的又另一範例，在 z MHz RF 產生器係開啓且 x MHz 和 y MHz RF 產生器係關閉之時，晶圓偏壓係決定為 $a_z \cdot V_z + b_z \cdot I_z + c_z \cdot \sqrt{P_z} + d_z$ ，其中「 a_z 」係一係數，「 b_z 」係一係數，「 d_z 」係常數，「 V_z 」係第二複電壓與電流的電壓大小，「 I_z 」係第二複電壓與電流的電流大小，且「 P_z 」係第二複電壓與電流的功率大小。功率大小 P_z 係電流大小 I_z 和電壓大小 V_z 的乘積。

【0154】 作為操作 342 的另一範例，在 x MHz 及 y MHz RF 產生器係開啓且 z MHz RF 產生器係關閉之時，將晶圓偏壓決定為第一乘積、第二乘積、第三乘積、第四乘積、第五乘積、第六乘積、及一常數的和。第一乘積係第一係數和電壓大小 V_x 的乘積，第二乘積係第二係數和電流大小 I_x 的乘積，第三乘積係第三係數和功率大小 P_x 的平方根的乘積，第四乘積係第四係數和電壓大小 V_y 的乘積，第五乘積係第五係數和電流大小 I_y 的乘積，且第六乘積係第六係數和功率大小 P_y 的平方根的乘積。在 x MHz 及 y MHz RF 產生器係開啓且 z MHz RF 產生器係關閉之時，晶圓偏壓係表示為 $a_{xy} \cdot V_x + b_{xy} \cdot I_x + c_{xy} \cdot \sqrt{P_x} + d_{xy} \cdot V_y + e_{xy} \cdot I_y + f_{xy} \cdot \sqrt{P_y} + g_{xy}$ ，其中「 a_{xy} 」、「 b_{xy} 」、「 c_{xy} 」、「 d_{xy} 」、「 e_{xy} 」、「 f_{xy} 」、「 d_{xy} 」、「 e_{xy} 」及「 f_{xy} 」為係數，且「 g_{xy} 」為常數。

【0155】 作為操作 342 的另一範例，在 y MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓且 x MHz RF 產生器係關閉之時，晶圓偏壓係決定為 $a_{yz} \cdot V_y + b_{yz} \cdot I_y + c_{yz} \cdot \sqrt{P_y} + d_{yz} \cdot V_z + e_{yz} \cdot I_z + f_{yz} \cdot \sqrt{P_z} + g_{yz}$ ，其中「 a_{yz} 」、「 b_{yz} 」、「 c_{yz} 」、「 d_{yz} 」、「 e_{yz} 」及「 f_{yz} 」為係數，且「 g_{yz} 」為常數。作為操作 342 的又另一範例，在 x MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓且 y MHz RF 產生器係關閉之時，晶圓偏壓係決定 $a_{xz} \cdot V_x + b_{xz} \cdot I_x + c_{xz} \cdot \sqrt{P_x} + d_{xz} \cdot V_z + e_{xz} \cdot I_z + f_{xz} \cdot \sqrt{P_z} + g_{xz}$ ，其中「 a_{xz} 」、「 b_{xz} 」、「 c_{xz} 」、「 d_{xz} 」、「 e_{xz} 」及「 f_{xz} 」為係數，且「 g_{xz} 」為常數。

【0156】 作為操作 342 的另一範例，在 x MHz、 y MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓之時，晶圓偏壓係決定為第一乘積、第二乘積、第三乘積、第四乘積、第五乘積、第六乘積、第七乘積、第八乘積、第九乘積、及一常數的和。第一乘積係第一係數和電壓大小 V_x 的乘積，第二乘積係第二係數和電流大小 I_x 的乘積，第三乘積係第三係數和功率大小 P_x 的平方根的乘積，第四乘積係第四係數和電壓大小 V_y 的乘積，第五乘積係第五係數和電流大小 I_y 的乘積，第六乘積係第六係數和功率大小 P_y 的平方根的乘積，第七乘積係第七係數和電壓大小 V_z 的乘積，第八乘積係第八係數和電流大小 I_z 的乘積，且第九乘積係第九係數和功率大小 P_z 的平方根的乘積。在 x MHz、 y MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓之時，晶圓偏壓係表示為 $axyz * V_x + bxyz * I_x + cxyz * \sqrt{P_x} + dxyz * V_y + exyz * I_y + fxyz * \sqrt{P_y} + gxyz * V_z + hxyz * I_z + ixyz * \sqrt{P_z} + jxyz$ ，其中「 $axyz$ 」、「 $bxyz$ 」、「 $cxyz$ 」、「 $dxyz$ 」、「 $eyxz$ 」、「 $fxyz$ 」、「 $gxyz$ 」、「 $hxyz$ 」及「 $ixyz$ 」為係數，且「 $jxyz$ 」為常數。

【0157】 作為決定一個以上模型的輸出處的晶圓偏壓的另一範例，在模型節點 N_{1m} 處的晶圓偏壓係藉由主機系統 130 的處理器基於在模型節點 N_{1m} 處所決定的電壓與電流大小而加以決定。為進一步說明，第二複電壓與電流係沿著 RF 傳輸模型部分 173（圖 1）加以傳導，以決定在模型節點 N_{1m} 處的複電壓與電流。以類似於自第一複電壓與電流決定第二複電壓與電流的方式，自第二複電壓與電流決定模型節點 N_{1m} 處的複電壓與電流。舉例來說，第二複電壓與電流係基於 RF 傳輸模型部分 173 的構件的特性沿著 RF 傳輸模型部分 173 加以傳導，以決定在模型節點 N_{1m} 處的複電壓與電流。

【0158】 基於在模型節點 N_{1m} 處所決定的複電壓與電流，藉由主機系統 130 的處理器決定模型節點 N_{1m} 處的晶圓偏壓。舉例來說，以類似於自第二複電壓與電流決定在模型節點 N_{4m} 處的晶圓偏壓的方式，自模型節點 N_{1m} 處的複電壓與電流決定模型節點 N_{1m} 處的晶圓偏壓。為了說明，當 x MHz RF 產生器係開啓且 y MHz 和 z MHz RF 產生器係關閉時，主機系統 130（圖 1）的處理器將模型節點 N_{1m} 處的晶圓偏壓決定為第一乘積、第二乘積、第三乘積、及一常數的和。在此範例中，第一乘積係第一係數

$c_{12} \cdot \sqrt{P_1}$ 、第四乘積 $d_{12} \cdot V_2$ 、第五乘積 $e_{12} \cdot I_2$ 、第六乘積 $f_{12} \cdot \sqrt{P_2}$ 、及常數 g_{12} 的和，其中 V_1 係該二個 RF 產生器的其中第一者開啓所造成的模型節點 N_{6m} 處的電壓大小， I_1 係該第一 RF 產生器開啓所造成的模型節點 N_{6m} 處的電流大小， P_1 係該第一 RF 產生器開啓所造成的模型節點 N_{6m} 處的功率大小， V_2 係該二個 RF 產生器的其中第二者開啓所造成的模型節點 N_{6m} 處的電壓大小， I_2 係該第二 RF 產生器開啓所造成的模型節點 N_{6m} 處的電流大小，及 P_2 係該第二 RF 產生器開啓所造成的模型節點 N_{6m} 處的功率大小， a_{12} 、 b_{12} 、 c_{12} 、 d_{12} 、 e_{12} 、及 f_{12} 為係數，且 g_{12} 為常數。

【0171】 作為又另一範例，當 x 、 y 、及 z MHz RF 產生器全部開啓時，於模型節點 N_{6m} 處的晶圓偏壓係決定成第一乘積 $a_{123} \cdot V_1$ 、第二乘積 $b_{123} \cdot I_1$ 、第三乘積 $c_{123} \cdot \sqrt{P_1}$ 、第四乘積 $d_{123} \cdot V_2$ 、第五乘積 $e_{123} \cdot I_2$ 、第六乘積 $f_{123} \cdot \sqrt{P_2}$ 、第七乘積 $g_{123} \cdot V_3$ 、第八乘積 $h_{123} \cdot I_3$ 、第九乘積 $i_{123} \cdot \sqrt{P_3}$ 、及常數 j_{123} 的和，其中 V_1 、 I_1 、 P_1 、 V_2 、 I_2 、及 P_2 係如前面的範例所描述， V_3 係該等 RF 產生器的其中第三者開啓所造成的模型節點 N_{6m} 處的電壓大小， I_3 係該第三 RF 產生器開啓所造成的模型節點 N_{6m} 處的電流大小，且 P_3 係該第三 RF 產生器開啓所造成的模型節點 N_{6m} 處的功率大小， a_{123} 、 b_{123} 、 c_{123} 、 d_{123} 、 e_{123} 、 f_{123} 、 g_{123} 、 h_{123} 、及 i_{123} 為係數，且 j_{123} 為常數。

【0172】 作為另一範例，用以決定晶圓偏壓的函數，係多個特徵數值和一常數的和。該等特徵數值包含大小值，例如大小值 V 、 I 、 P 、 V_1 、 I_1 、 P_1 、 V_2 、 I_2 、 P_2 、 V_3 、 I_3 、 P_3 等等。該等特徵數值亦包含係數，例如係數 a 、 b 、 c 、 a_{12} 、 b_{12} 、 c_{12} 、 d_{12} 、 e_{12} 、 f_{12} 、 a_{123} 、 b_{123} 、 c_{123} 、 d_{123} 、 e_{123} 、 f_{123} 、 g_{123} 、 h_{123} 、 i_{123} 等等。常數的例子包含常數 d 、常數 g_{12} 、常數 j_{123} 等等。

【0173】 應注意的是，該等特徵數值的係數以及該等特徵數值的常數包含經驗模型資料。舉例來說，使用一晶圓偏壓感測器在 ESC 177（圖 1）處量測晶圓偏壓多次。此外，在此範例中，進行以下步驟量測該晶圓偏壓之次數：藉由將複電壓與電流自一個以上 RF 產生器（例如 x MHz RF 產生器、 y MHz RF 產生器、 z MHz RF 產生器等等）的一個以上節點（例如節

點 N3、N5 等等) 經由一個以上的模型 (例如阻抗匹配模型 104、RF 傳輸模型部分 173、RF 傳輸模型 161、ESC 模型 125 (圖 1)) 傳導至路徑 353 (圖 16) 上的該點, 決定路徑 353 (圖 16) 上的該點處的複電壓與電流。此外, 在此範例中, 一統計方法 (例如部分最小平方、回歸等等) 係由主機系統 130 的處理器加以使用於測得的晶圓偏壓, 以及使用於抽取自在該點處的複電壓與電流的電壓大小、電流大小、及功率大小, 以決定該等特徵數值的係數及該等特徵數值的常數。

【0174】 在各種實施例中, 用以決定晶圓偏壓的函數的特徵在於代表路徑 353 的物理特性之多個數值的總和。路徑 353 的物理特性係由測試資料 (例如經驗模型資料等等) 所導出數值。路徑 353 的物理特性的例子包含在路徑 353 上的構件的電容、電感、其組合等等。如上所述, 沿著路徑 353 的構件的電感及/或電容, 影響利用預測方法根據經驗決定的路徑 353 上的該點處的電壓與電流, 且因而影響該等特徵數值的係數以及該等特徵數值的常數。

【0175】 在若干實施例中, 用以決定晶圓偏壓的函數係一多項式。

【0176】 圖 17 係方法 363 的實施例的流程圖, 方法 363 用於決定系統 126 (圖 1) 的一模型節點處的晶圓偏壓。圖 17 係參照圖 1 和 16 加以描述。方法 363 係由主機系統 130 (圖 1) 的處理器加以執行。在操作 365 中, 一個以上複電壓與電流係由主機系統 130 從一產生器系統的一個以上通訊裝置接收, 該產生器系統包含 x MHz RF 產生器、y MHz RF 產生器、及 z MHz RF 產生器其中一者以上。舉例來說, 在節點 N3 處所測得的複電壓與電流係接收自通訊裝置 185 (圖 1)。作為另一範例, 在節點 N5 處所測得的複電壓與電流係接收自通訊裝置 189 (圖 1)。作為又另一範例, 接收在節點 N3 處所測得的複電壓與電流、及在節點 N5 處所測得的複電壓與電流。應注意的是, 該產生器系統的輸出包含節點 N3、N5、及 z MHz RF 產生器的一輸出節點其中一者以上。

【0177】 在操作 367 中, 基於該產生器系統的輸出處的一個以上複電壓與電流, 決定在沿著 (例如在其上等等) 介於阻抗匹配模型 104 和 ESC 模型 125 (圖 16) 之間的路徑 353 (圖 16) 的一點處的預測複電壓與電流。

舉例來說，預測該產生器系統的輸出處的複電壓與電流通過阻抗匹配模型 104 (圖 16)，以決定在模型節點 N4m 處的複電壓與電流。作為另一範例，預測產生器系統的輸出處的複電壓與電流通過阻抗匹配模型 104 和 RF 傳輸模型 161 的 RF 傳輸模型部分 173 (圖 1)，以決定模型節點 N1m (圖 1) 處的複電壓與電流。作為又另一範例，預測該產生器系統的輸出處的複電壓與電流通過阻抗匹配模型 104 和 RF 傳輸模型 161，以決定模型節點 N2m (圖 1) 處的複電壓與電流。作為另一範例，預測產生器系統輸出處的複電壓與電流通過阻抗匹配模型 104、RF 傳輸模型 161、及 ESC 模型 125，以決定模型節點 N6m (圖 1) 處的複電壓與電流。

【0178】 在操作 369 中，藉由使用預測的複 V&I 作為一函數的輸入，計算沿著路徑 353 的該點處的晶圓偏壓。舉例來說，當 x、y、或 z MHz RF 產生器係開啓且其餘的 x、y、和 z MHz RF 產生器係關閉時，該點處的晶圓偏壓係由一函數加以決定，其係決定為第一乘積 $a \cdot V$ 、第二乘積 $b \cdot I$ 、第三乘積 $c \cdot \sqrt{P}$ 、及一常數 d 的和，其中 V 為該點處的預測複電壓與電流的電壓大小，I 為該點處的預測複電壓與電流的電流大小，P 為該點處的複電壓與電流的功率大小，a、b、及 c 為係數，且 d 為常數。

【0179】 作為另一範例，當 x、y、及 z MHz RF 產生器其中二者係開啓且其餘的 x、y、及 z MHz RF 產生器係關閉之時，於該點處的晶圓偏壓係決定為第一乘積 $a_{12} \cdot V_1$ 、第二乘積 $b_{12} \cdot I_1$ 、第三乘積 $c_{12} \cdot \sqrt{P_1}$ 、第四乘積 $d_{12} \cdot V_2$ 、第五乘積 $e_{12} \cdot I_2$ 、第六乘積 $f_{12} \cdot \sqrt{P_2}$ 、及常數 g_{12} 的和，其中 V_1 係該二個 RF 產生器的其中第一者開啓所造成的該點處的電壓大小， I_1 係該第一 RF 產生器開啓所造成的該點處的電流大小， P_1 係該第一 RF 產生器開啓所造成的該點處的功率大小， V_2 係該二個 RF 產生器的其中第二者開啓所造成的該點處的電壓大小， I_2 係該第二 RF 產生器開啓所造成的該點處的電流大小，及 P_2 係該第二 RF 產生器開啓所造成的該點處的功率大小， a_{12} 、 b_{12} 、 c_{12} 、 d_{12} 、 e_{12} 、及 f_{12} 為係數，且 g_{12} 為常數。

【0180】 作為又另一範例，當 x、y、及 z MHz RF 產生器全部開啓時，於該點處的晶圓偏壓係決定成第一乘積 $a_{123} \cdot V_1$ 、第二乘積 $b_{123} \cdot I_1$ 、第三乘積 $c_{123} \cdot \sqrt{P_1}$ 、第四乘積 $d_{123} \cdot V_2$ 、第五乘積 $e_{123} \cdot I_2$ 、第六乘積

$f_{123} \cdot \sqrt{P_2}$ 、第七乘積 $g_{123} \cdot V_3$ 、第八乘積 $h_{123} \cdot I_3$ 、第九乘積 $i_{123} \cdot \sqrt{P_3}$ 、及常數 j_{123} 的和，其中 V_1 、 I_1 、 P_1 、 V_2 、 I_2 、及 P_2 係如前面的範例所描述， V_3 係該等 RF 產生器的其中第三者開啓所造成的該點處的電壓大小， I_3 係該第三 RF 產生器開啓所造成的該點處的電流大小，且 P_3 係該第三 RF 產生器開啓所造成的該點處的功率大小， a_{123} 、 b_{123} 、 c_{123} 、 d_{123} 、 e_{123} 、 f_{123} 、 g_{123} 、 h_{123} 、及 i_{123} 為係數，且 j_{123} 為常數。

【0181】 圖 18 係系統 330 的實施例的方塊圖，用以說明藉由使用方法 340（圖 13）、方法 351（圖 15）、或方法 363（圖 17）而非使用電壓探測器 332（例如電壓感測器等等）決定晶圓偏壓的優點。

【0182】 電壓探測器 332 係連接至節點 N_1 以決定節點 N_1 處的電壓。在若干實施例中，電壓探測器 332 係連接至另一節點（例如節點 N_2 、 N_4 等等），以決定在其他節點處的電壓。電壓探測器 332 包含多個電路，例如一 RF 分路器電路、一濾波器電路 1、一濾波器電路 2、一濾波器電路 3 等等。

【0183】 此外， x 和 y MHz RF 產生器係連接至主機系統 334，主機系統 334 包含一干擾或訊號判定模組 336。應注意的是，一模組可為一處理器、一 ASIC、一 PLD、由一處理器所執行的一軟體、或其組合。

【0184】 電壓探測器 332 量測電壓大小，該電壓大小由主機系統 334 加以使用以決定晶圓偏壓。模組 336 判定由電壓探測器 332 所測得的電壓大小係訊號或干擾。在判定由電壓探測器 332 所測得的電壓大小係一訊號時，主機系統 334 決定晶圓偏壓。

【0185】 與系統 330 相比，系統 126（圖 1）係符合成本效益且節省時間和精力。系統 330 包含電壓探測器 332，該電壓探測器 332 不需要包含在系統 126 之中。不需要在系統 126 的節點 N_4 、 N_1 、或 N_2 處連接一電壓探測器以決定晶圓偏壓。在系統 126 中，晶圓偏壓係基於阻抗匹配模型 104、RF 傳輸模型 161、及/或 ESC 模型 125（圖 1）而加以決定。此外，系統 330 包含模組 336，模組 336 亦不需要包含在系統 126 之中。不需要花費時間和精力以決定一複電壓與電流係訊號或干擾。沒有此種決定需要由主機系統 130（圖 1）加以進行。

1) 處的偏壓。

【0201】 吾人亦注意到，與使用電壓相比，使用三個參數（例如電流大小、電壓大小、及電流與電壓之間的相位等等）決定晶圓偏壓以抵銷在 ESC 177 處的偏壓，能夠較佳地決定晶圓偏壓。舉例來說，使用該三個參數計算的晶圓偏壓，與 RF 電壓和非線性電漿狀態之間的關係相比，具有相對於非線性電漿狀態較強的相關性。作為另一範例，使用三個參數所計算的晶圓偏壓，與使用電壓探測器所決定者相比係較為準確。

【0202】 更注意到的是，雖然上述操作係就平行板電漿腔室（例如電容耦合電漿腔室等等）加以描述，在若干實施例中，上述實施例適用於其他類型的電漿腔室，例如包含電感式耦合電漿（ICP）反應器、變壓耦合電漿（TCP）反應器、導體工具、介電工具的電漿腔室、包含電子迴旋共振（ECR）反應器的電漿腔室等等。舉例來說，x MHz RF 產生器及 y MHz RF 產生器係連接至 ICP 電漿腔室之內的一電感器。

【0203】 亦注意到的是，雖然上述操作係描述成藉由主機系統 130（圖 1）的處理器加以執行，在若干實施例中，該等操作可藉由主機系統 130 的一個以上處理器或藉由多個主機系統的多個處理器加以執行。

【0204】 應注意到，雖然上述實施例係關於將 RF 訊號提供至 ESC 177（圖 1 和 18）的下電極以及提供至 ESC 192（圖 11）的下電極且將上電極 179 和 264（圖 1 和 11）接地，在若干實施例中，將 RF 訊號提供至上電極 179 和 264 而將 ESC 177 和 163 的下電極接地。

【0205】 此處所述實施例可以各種電腦系統構造加以實施，上述電腦系統包含手持式硬體單元、微處理器系統、基於微處理器或可程式消費性電子裝置、迷你電腦、大型電腦等等。該等實施例亦可在分散式計算環境中實施，其中多個工作係藉由透過網路鏈結的遠端處理硬體單元加以執行。

【0206】 考慮到上述實施例，應理解的是該等實施例可使用各種電腦實現操作，該等電腦實現操作涉及在電腦系統中所儲存資料。這些操作係需要物理量的物理性操作者。形成部分之實施例的此處所述的任何操作係有用的機械操作。該等實施例亦關於執行這些操作的硬體單元或設備。該設備可特別建構用於特殊用途電腦。當定義為特殊用途電腦，該電腦亦可

執行非該特殊用途一部分的其他處理、程式執行或常式，而仍能夠操作用於該特殊用途。在若干實施例中，可藉由利用儲存於電腦記憶體、快取記憶體、或由網路取得的一個以上電腦程式選擇性啟動或設定的通用電腦，處理該等操作。當資料係通過網路取得，該資料可藉由網路上的其他電腦（例如雲端計算資源）加以處理。

【0207】 一個以上實施例亦可製作為非暫時性電腦可讀媒體上的電腦可讀碼。該非暫時性電腦可讀媒體係可儲存資料的任何資料儲存硬體單元，該資料之後可由電腦系統讀出。非暫時性電腦可讀媒體的範例包含硬碟、網路附接儲存器（NAS）、ROM、RAM、光碟唯讀記憶體（CD-ROM）、可錄 CD（CD-R）、可重寫 CD（CD-RW）、磁帶、及其他光學和非光學資料儲存硬體單元。非暫時性電腦可讀媒體可包含分布於網路連接電腦系統上的電腦可讀有形媒體，使得電腦可讀碼被分散式地儲存和執行。

【0208】 雖然上述圖 2、圖 13、圖 15、及圖 17 的流程圖中的方法操作係以特定的順序描述，應理解的是其他內務處理操作可在該等操作之間加以執行，或者可調整操作，使得該等操作在些許不同的時間發生，或者可分布於一系統之中，該系統允許在各種與處理相關聯的時間間隔處理操作的發生，只要重疊操作的處理係以所欲的方式執行。

【0209】 來自任何實施例的一個以上特徵，可與任何其他實施例的一個以上特徵結合，而不偏離本揭露內容之各種實施例所述之範疇。

【0210】 雖然前述實施例以清楚理解為目的而相當程度詳細地加以描述，顯而易見的是，在隨附申請專利範圍的範疇之內可實施某些變化和修改。因此，本實施例係視為例示性而非限制性，且該等實施例係不限定於此處所提供的細節，而是可在隨附申請專利範圍的範疇和均等者之內加以修改。

【符號說明】

- 102 方法
- 104 阻抗匹配模型
- 106 操作

- 107 操作
- 110 電壓與電流 (VI) 探測器
- 111 電壓與電流探測器
- 113 RF 傳輸線
- 114 阻抗匹配電路
- 115 阻抗匹配電路
- 116 操作
- 117 操作
- 119 操作
- 122 阻抗匹配電路
- 123 系統
- 125 靜電夾頭 (ESC) 模型
- 126 系統
- 128 系統
- 130 主機系統
- 131 工件
- 134 電漿腔室
- 135 電漿腔室
- 142 桿
- 144 RF 帶
- 146 支持部
- 148 圓筒
- 150 電纜
- 152 電纜
- 153 輸入
- 155 輸入
- 161 RF 傳輸模型
- 162 儲存硬體單元 (HU)
- 163 電纜模型

- 165 電纜模型
- 168 處理器
- 169 RF 傳輸線部分
- 171 系統
- 172 阻抗匹配模型
- 173 RF 傳輸模型部分
- 175 電漿腔室
- 176 電路模型
- 177 靜電夾頭 (ESC)
- 178 系統
- 179 上電極
- 180 電路
- 181 RF 傳輸線
- 183 上表面
- 185 通訊裝置
- 187 控制系統
- 189 通訊裝置
- 190 絕緣體
- 191 電纜
- 192 ESC
- 193 電纜
- 194 邊緣環 (ER)
- 195 RF 傳輸線部分
- 196 加熱構件
- 197 RF 傳輸模型部分
- 198 加熱構件
- 199 RF 桿
- 200 系統
- 201 ESC

- 202 濾波器
- 204 電源供應器
- 206 電源供應器
- 208 濾波器
- 210 隧道與帶模型
- 211 圓筒模型
- 213 數位脈衝訊號
- 215 RF 訊號
- 216 模型
- 217 系統
- 218 模型
- 219 系統
- 220 RF 產生器
- 221 RF 訊號
- 222 參數控制部
- 233 通訊裝置
- 224 參數控制部
- 226 數位訊號處理器 (DSP)
- 228 驅動器
- 230 放大器
- 231 輸出
- 232 驅動放大系統 (DAS)
- 233 通訊裝置
- 236 系統
- 238 電壓與電流探測器
- 250 系統
- 251 節點
- 253 電容器
- 255 輸入

- 257 節點
- 259 輸出
- 261 節點
- 262 工件
- 263 上表面
- 264 上電極
- 265 節點
- 268 圖形
- 269 電容器
- 270 圖形
- 272 圖形
- 274 圖形
- 275 圖形
- 276 圖形
- 277 圖形
- 278 圖形
- 280 圖形
- 282 圖形
- 283 輸出
- 284 圖形
- 285 輸入
- 286 圖形
- 287 RF 傳輸線
- 288 圖形
- 290 圖形
- 292 圖形
- 293 節點
- 294 圖形
- 296 圖形

- 297 輸出
- 298 圖形
- 300 電路
- 302 隧道與帶模型
- 304 節點
- 310 電路
- 312 圓筒與 ESC 模型
- 313 電感器
- 316 電容器
- 318 節點
- 330 系統
- 332 電壓探測器
- 334 主機系統
- 336 模組
- 340 方法
- 341 操作
- 342 操作
- 343 操作
- 345 晶圓偏壓產生器
- 351 方法
- 353 路徑
- 355 系統
- 357 操作
- 359 操作
- 361 操作
- 363 方法
- 367 操作
- 369 操作
- 380 輸入 HU

- 382 輸出 HU
- 384 輸入/輸出 (I/O) 介面
- 386 I/O 介面
- 388 網路介面控制器 (NIC)
- 392 匯流排

發明摘要

公告本

※ 申請案號：103102747

※ 申請日：103.1.24

※ IPC 分類：

G06W 2716 (2006.01)

H01L 21/306J (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

使用模型化以決定與電漿系統有關的晶圓偏壓

USING MODELING TO DETERMINE WAFER BIAS ASSOCIATED WITH A PLASMA SYSTEM

【中文】

描述用於決定晶圓偏壓的系統和方法。該等方法其中一者包含偵測一產生器的輸出，以確定一產生器輸出的複電壓與電流 (V&I)。該產生器係連接至一阻抗匹配電路，且該阻抗匹配電路係連接至一電漿腔室的一靜電夾頭 (ESC)。該方法更包含：由該產生器輸出的複 V&I，決定在沿著介於該阻抗匹配電路的模型的輸出與該 ESC 的模型之間的一路徑的一點處的一預測複 V&I。該決定該預測複 V&I 的操作係使用至少部份該路徑的模型而加以執行。該方法包含使用該預測複 V&I 作為一函數的輸入，以將該預測複 V&I 映射成在該 ESC 的模型處的晶圓偏壓。

【英文】

Systems and methods for determining wafer bias are described. One of the methods includes detecting output of a generator to identify a generator output complex voltage and current (V&I). The generator is coupled to an impedance matching circuit and the impedance matching circuit is coupled to an electrostatic chuck (ESC). The method further includes determining from the generator output complex V&I a projected complex V&I at a point along a path between an output of a model of the impedance matching circuit and a model of the ESC. The operation of determining of the projected complex V&I is performed using a model for at least part of the path. The method includes applying the projected complex V&I as an input to a function to map the projected complex V&I to a wafer bias value at the ESC model.

申請專利範圍

1.一種方法，用於決定晶圓偏壓，該方法包含：

偵測一產生器的輸出，以確定一產生器輸出的複電壓與電流，該產生器係連接至一阻抗匹配電路，該阻抗匹配電路係經由一射頻（RF）傳輸線連接至一電漿腔室的一靜電夾頭（ESC）；

由該產生器輸出的複電壓與電流，決定在沿著介於該阻抗匹配電路的模型的輸出與該ESC的模型之間的一路徑的一點處的一預測複電壓與電流，該決定該預測複電壓與電流的操作係使用至少部份該路徑的模型而加以執行，至少部分該路徑的該模型表現沿著該路徑的物理元件的特徵；及使用該預測複電壓與電流作為一函數的輸入，以將該預測複電壓與電流映射成在該ESC的模型處的晶圓偏壓。

2.如申請專利範圍第1項的方法，其中該函數的特徵在於表現該路徑的多個物理特性的多個數值的總和，其中該預測複電壓與電流係用於該等數值的該總和。

3.如申請專利範圍第2項的方法，其中該路徑的該等物理特性係自測試資料所導出數值。

4.如申請專利範圍第1項的方法，其中該函數係多個特徵數值和一常數的和，該等特徵數值包含大小值和係數，該等大小值係由該預測複電壓與電流導出，該等係數和該常數包含經驗模型資料。

5.如申請專利範圍第4項的方法，其中該等係數為該等大小值的係數。

6.如申請專利範圍第4項的方法，其中該經驗模型資料包含基於量測在該ESC處的晶圓偏壓、基於決定複電壓與電流的大小值、及基於將估算統計方法應用於在該ESC處的晶圓偏壓的量測和複電壓與電流的大小值所取得的資料，該決定複電壓與電流的大小值的操作係基於該阻抗匹配電路的模型及至少部分該路徑的該模型而加以執行。

7.如申請專利範圍第1項的方法，其中該函數包含第一乘積、第二乘積、第三乘積、及一常數的和，其中該第一乘積係一係數和一電壓大小值的乘積，該第二乘積係一係數和一電流大小值的乘積，該第三乘積係一係數和一功率大小值的平方根的乘積，該電壓大小值係抽取自該預測複電壓與電流，

該電流大小值係抽取自該預測複電壓與電流，該功率大小值係由該電流大小值和該電壓大小值加以計算。

8.一種方法，用於決定晶圓偏壓，該方法包含：

接收在一個以上產生器的一個以上輸出處所測得的一個以上產生器輸出的複電壓與電流，該一個以上產生器係連接至一阻抗匹配電路，該阻抗匹配電路係經由一射頻（RF）傳輸線連接至一電漿腔室的一靜電夾頭（ESC）；

由該一個以上產生器輸出的複電壓與電流，決定在沿著介於該阻抗匹配電路的模型與該ESC的模型之間的一路徑的一點處的預測複電壓與電流，該等模型表現沿著該路徑的物理元件的特徵；及

藉由使用該預測複電壓與電流作為一函數的輸入，計算在該點處的晶圓偏壓。

9.如申請專利範圍第8項的方法，其中該函數的特徵在於表現該路徑的多個物理特性的多個數值的總和，其中該預測複電壓與電流係用於該等數值的該總和。

10.如申請專利範圍第9項的方法，其中該路徑的該等物理特性係自測試資料所導出數值。

11.如申請專利範圍第8項的方法，其中該函數係多個特徵數值和一常數的和，該等特徵數值包含大小值和係數，該等大小值係由該預測複電壓與電流導出，該等係數和該常數包含經驗模型資料。

12.如申請專利範圍第11項的方法，其中該等係數為該等大小值的係數。

13.如申請專利範圍第11項的方法，其中該經驗模型資料包含基於量測在該ESC處的晶圓偏壓、基於決定複電壓與電流的大小值、及基於將估算統計方法應用於在該ESC處的晶圓偏壓的量測和複電壓與電流的大小值所取得的資料，該決定複電壓與電流的大小值的操作係基於該阻抗匹配電路的模型及至少部分該路徑的模型而加以執行。

14.如申請專利範圍第8項的方法，其中該函數包含第一乘積、第二乘積、第三乘積、及一常數的和，其中該第一乘積係一係數和一電壓大小值的乘積，該第二乘積係一係數和一電流大小值的乘積，該第三乘積係一係數和一功率大小值的平方根的乘積，該電壓大小值係自該預測複電壓與電流加以確

定，該電流大小值係自該預測複電壓與電流加以確定，該功率大小值係由該電流大小值和該電壓大小持加以決定。

15.一種方法，用於決定晶圓偏壓，該方法包含：

在一射頻（RF）產生器係經由一阻抗匹配電路連接至一電漿腔室時，確定在該RF產生器的一輸出處所測得的一第一複電壓與電流，該阻抗匹配電路具有連接至該RF產生器的該輸出的一輸入、及連接至一RF傳輸線的一輸出；

基於在該阻抗匹配電路中所定義的電元件，產生一阻抗匹配模型，該阻抗匹配模型具有一輸入及一輸出，該阻抗匹配模型的輸入接收該第一複電壓與電流，該阻抗匹配模型具有一個以上構件；

將該第一複電壓與電流，自該阻抗匹配模型的輸入，經由該一個以上構件傳導至該阻抗匹配模型的輸出，以決定一第二複電壓與電流，其中該第二複電壓與電流係在該阻抗匹配模型的輸出處；及

基於該第二複電壓與電流的電壓大小值、該第二複電壓與電流的電流大小值、及該第二複電壓與電流的功率大小值，決定一晶圓偏壓。

16.如申請專利範圍第15項的方法，其中決定該晶圓偏壓的步驟包含：

基於該電壓大小值及該電流大小值，計算該功率大小值；及

計算第一乘積、第二乘積、第三乘積、及一常數的和，其中該第一乘積係該電壓大小值和一第一係數的乘積，該第二乘積係該電流大小值和一第二係數的乘積，且該第三乘積係該功率大小值的平方根和一第三係數的乘積。

17.如申請專利範圍第15項的方法，其中決定該晶圓偏壓的步驟係基於該RF產生器是否開啓而加以執行。

18.如申請專利範圍第15項的方法，更包含：

基於在該RF傳輸線之中所定義的電元件，產生一RF傳輸模型，該RF傳輸模型具有一輸入及一輸出，該RF傳輸模型的輸入係連接至該阻抗匹配模型的輸出，該RF傳輸模型具有一RF傳輸模型部分，其中該晶圓偏壓係決定於該RF傳輸模型部分的輸出處。

19.如申請專利範圍第15項的方法，更包含：

基於在該RF傳輸線中所定義的電元件，產生一RF傳輸模型，該RF傳輸模型具有一輸入及一輸出，該RF傳輸模型的輸入係連接至該阻抗匹配模型的輸出，其中該晶圓偏壓係決定於該RF傳輸模型的輸出處。

20.如申請專利範圍第19項的方法，其中RF傳輸線的該等電元件包含電容器、電感器、或其組合，該RF傳輸模型包含一個以上構件，其中該RF傳輸模型的該等構件具有與該RF傳輸線的該等電元件類似的特性。

21.如申請專利範圍第15項的方法，其中所接收的該第一複電壓與電流係使用一電壓與電流探測器於該RF產生器的輸出處測得，該電壓與電流探測器係根據一預設準則加以校準。

22.如申請專利範圍第21項的方法，其中該預設準則係一標準。

23.如申請專利範圍第22項的方法，其中該標準係國家標準技術研究所（NIST）標準，其中該電壓與電流探測器係與一開路、一短路、或一負載連接，以校準該電壓與電流探測器符合該NIST標準。

24.如申請專利範圍第15項的方法，其中該第二複電壓與電流包含一電壓值、一電流值、及該電壓值和該電流值之間的一相位。

25.如申請專利範圍第15項的方法，其中該阻抗匹配模型的該等構件包含電容器、電感器、或其組合，其中該阻抗匹配電路的該等電元件包含電容器、電感器、或其組合，其中該阻抗匹配模型的該等構件具有與該阻抗匹配電路的該等電元件類似的特性。

26.如申請專利範圍第15項的方法，其中該晶圓偏壓係用於一系統，其中該系統包含一RF傳輸線且不包含在該RF傳輸線上的電壓探測器。

27.如申請專利範圍第15項的方法，更包含：

基於在該RF傳輸線中所定義的電元件，產生一RF傳輸模型，該RF傳輸模型具有一輸入及一輸出，該RF傳輸模型的輸入係連接至該阻抗匹配模型的輸出；及

基於該電漿腔室的一靜電夾頭（ESC）的特性，產生一ESC模型，該ESC模型具有一輸入，該ESC模型的輸入係連接至該RF傳輸模型的輸出，其中該晶圓偏壓係決定於該ESC模型的輸出處。

28.如申請專利範圍第15項的方法，其中將該第一複電壓與電流自該阻抗匹配模型的輸入經由該一個以上構件傳導至該阻抗匹配模型的輸出以決定該第二複電壓與電流的步驟，包含：

基於該第一複電壓與電流、以及連接在該阻抗匹配模型的輸入和該阻抗匹配模型內的一中間節點之間的該阻抗匹配模型的一個以上構件的特性，決定該中間節點處的一中間複電壓與電流；及

基於該中間複電壓與電流、以及連接在該中間節點和該阻抗匹配模型的輸出之間的該阻抗匹配模型的一個以上構件的特性，決定該第二複電壓與電流。

29.如申請專利範圍第15項的方法，其中該RF傳輸模型包含一RF隧道模型及一RF帶模型，該RF隧道模型係與該RF帶模型連接。

30.一種電漿系統，用於決定晶圓偏壓，該電漿系統包含：

一個以上射頻（RF）產生器，用於產生一個以上RF訊號，該一個以上RF產生器係與一個以上電壓與電流探測器連結，其中該一個以上電壓與電流探測器係用以量測在該一個以上RF產生器的對應的一個以上輸出處的一個以上複電壓與電流；

一阻抗匹配電路，連接至該一個以上RF產生器；

一電漿腔室，經由一RF傳輸線連接至該阻抗匹配電路，該電漿腔室包含一靜電夾頭（ESC），該ESC係連接至該RF傳輸線；及

一處理器，連接至該一個以上RF產生器，該處理器係用以：

接收該一個以上複電壓與電流；

由該一個以上複電壓與電流，決定在沿著介於該阻抗匹配電路的模型和該ESC的模型之間的路徑的一點處的預測複電壓與電流，該等模型表現沿著該路徑的物理元件的特徵；及

藉由使用該預測複電壓與電流作為一函數的輸入，計算在該點處的晶圓偏壓。

31.如申請專利範圍第30項的電漿系統，其中該函數的特徵在於表現該路徑的多個物理特性的多個數值的總和，其中該預測複電壓與電流係用於該等數值的該總和。

32.如申請專利範圍第31項的電漿系統，其中該路徑的該等物理特性係自測試資料導出的數值。

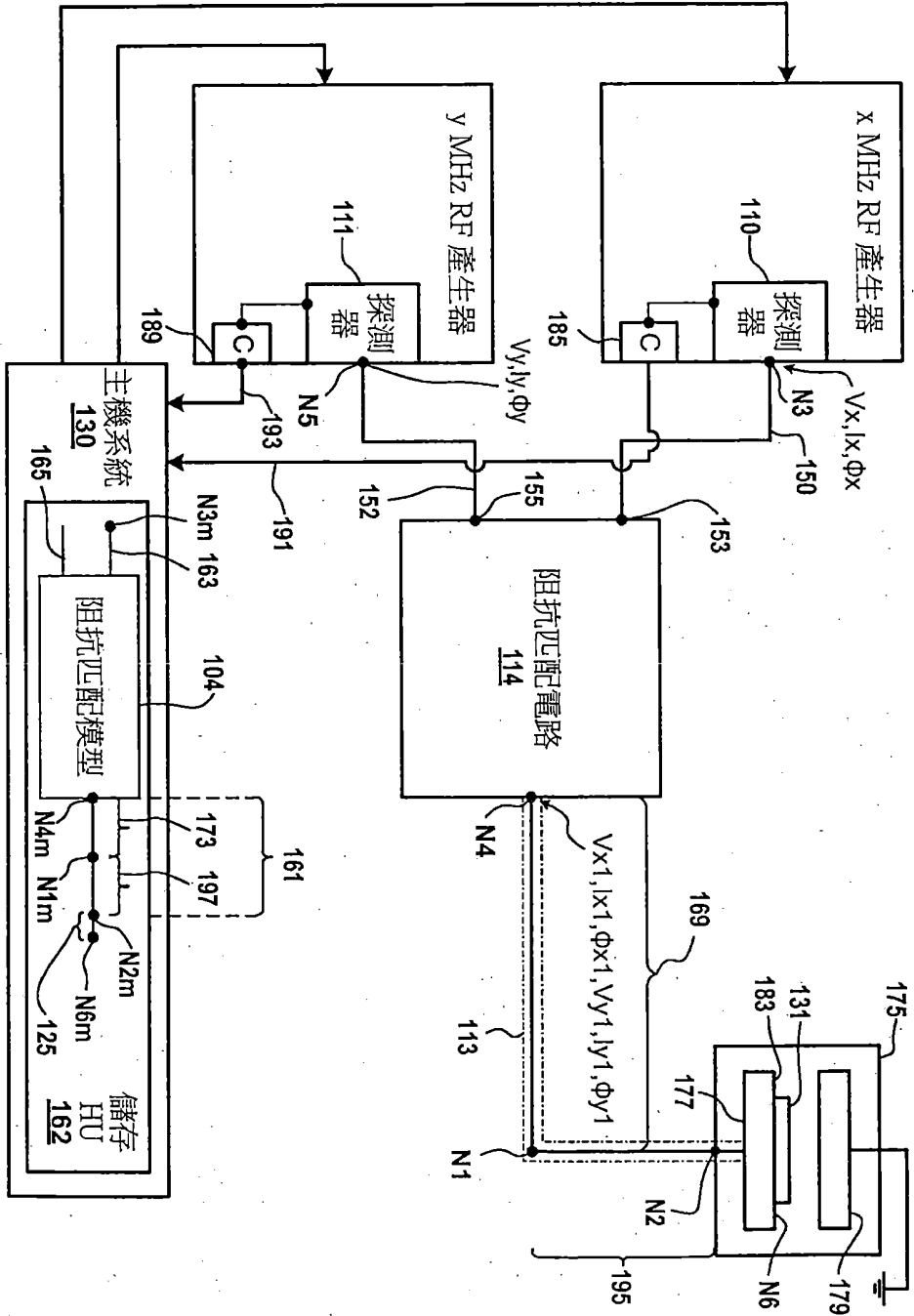
33.如申請專利範圍第30項的電漿系統，其中該函數係多個特徵數值和一常數的和，該等特徵數值包含大小值和係數，該等大小值係由該預測複電壓與電流導出，該等係數和該常數包含經驗模型資料。

34.如申請專利範圍第33項的電漿系統，其中該等係數為該等大小值的係數。

35.如申請專利範圍第33項的電漿系統，其中該經驗模型資料包含基於量測在該ESC處的晶圓偏壓、基於決定複電壓與電流的大小值、及基於將估算統計方法應用於在該ESC處的晶圓偏壓的量測和複電壓與電流的大小值所取得的資料，該決定該等複電壓與電流的大小值的操作係基於該阻抗匹配電路的模型及至少部分該路徑的模型而加以執行。

36.如申請專利範圍第30項的電漿系統，其中該函數包含第一乘積、第二乘積、第三乘積、及一常數的和，其中該第一乘積係一係數和一電壓大小值的乘積，該第二乘積係一係數和一電流大小值的乘積，該第三乘積係一係數和一功率大小值的平方根的乘積，該電壓大小值係抽取自該預測複電壓與電流，該電流大小值係抽取自該預測複電壓與電流，該功率大小值係由該電流大小值和該電壓大小值加以計算。

圖 1



126

圖 1

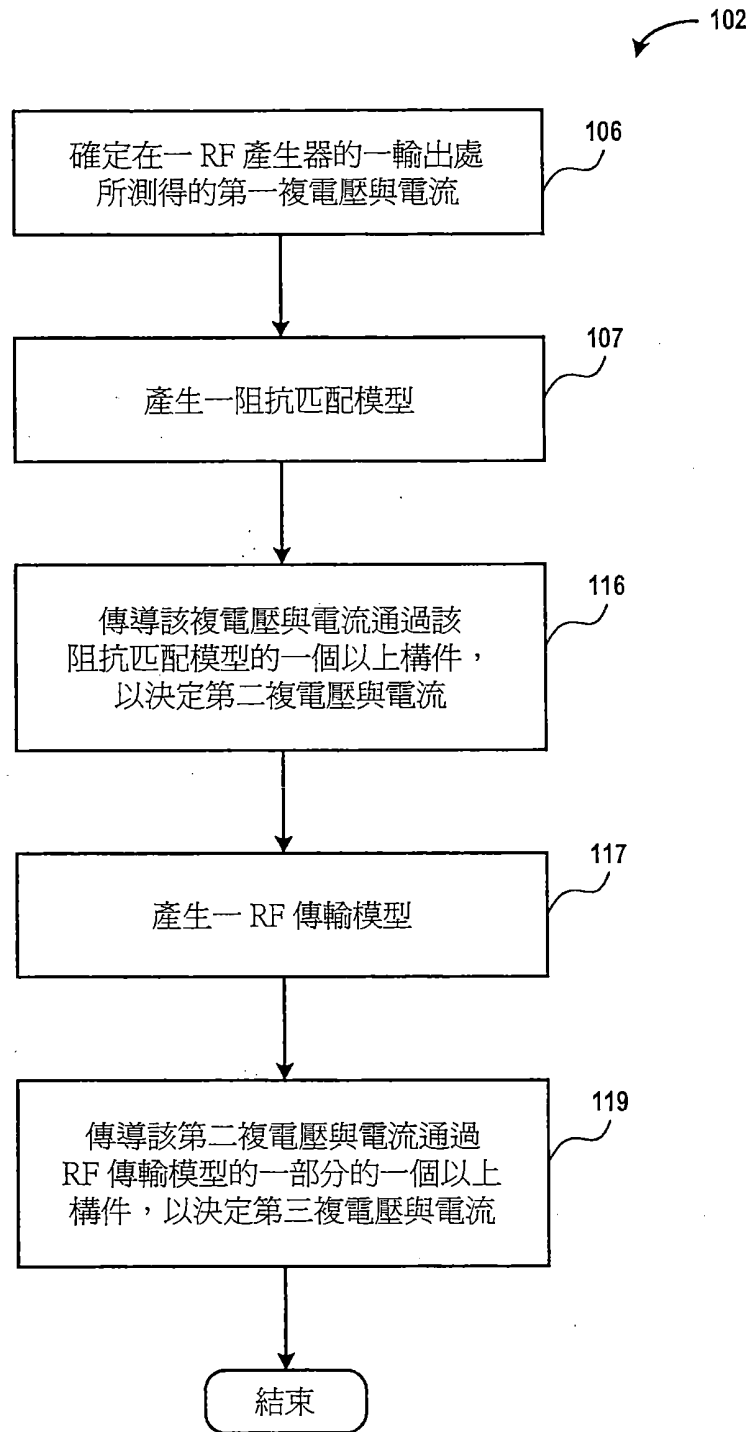


圖 2

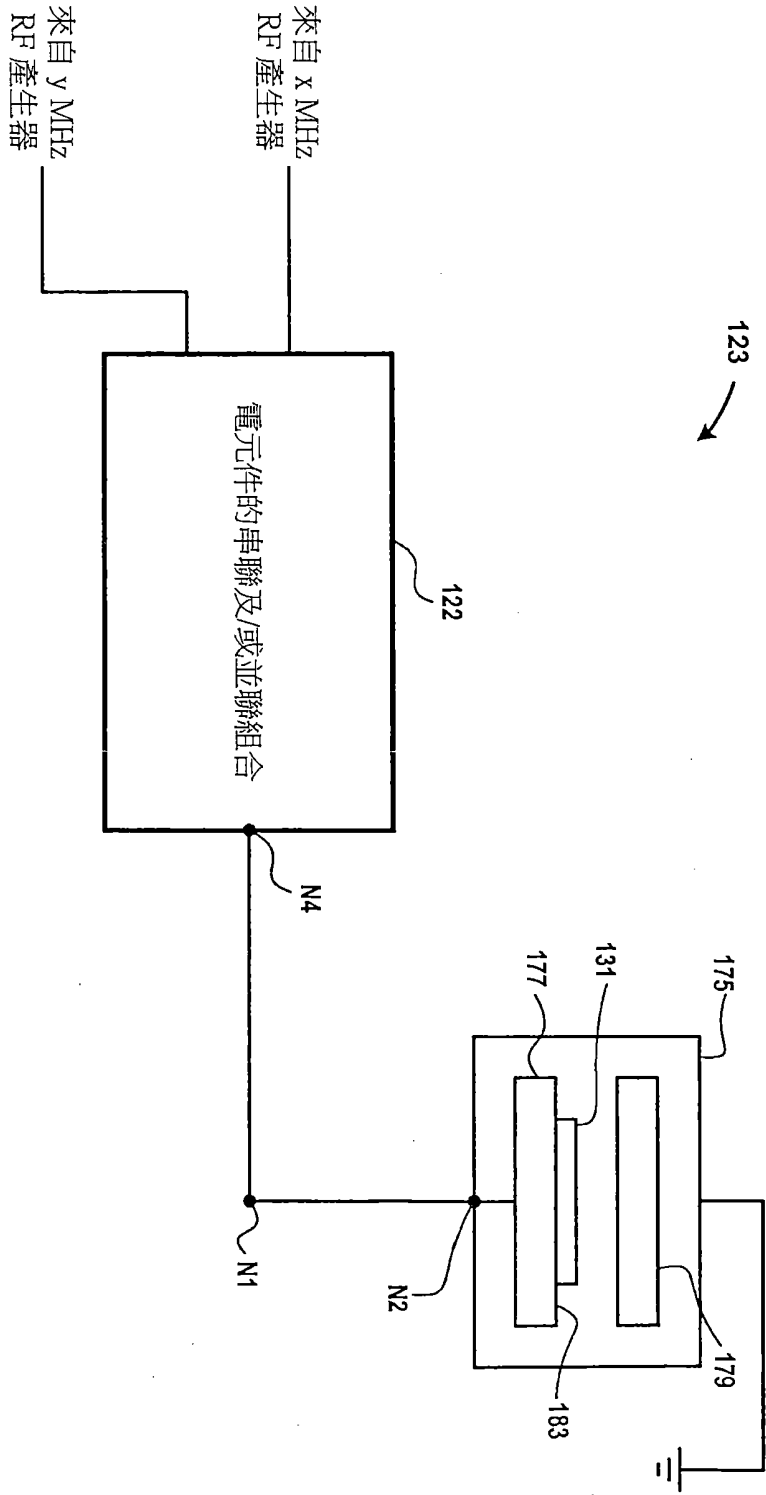


圖 3A

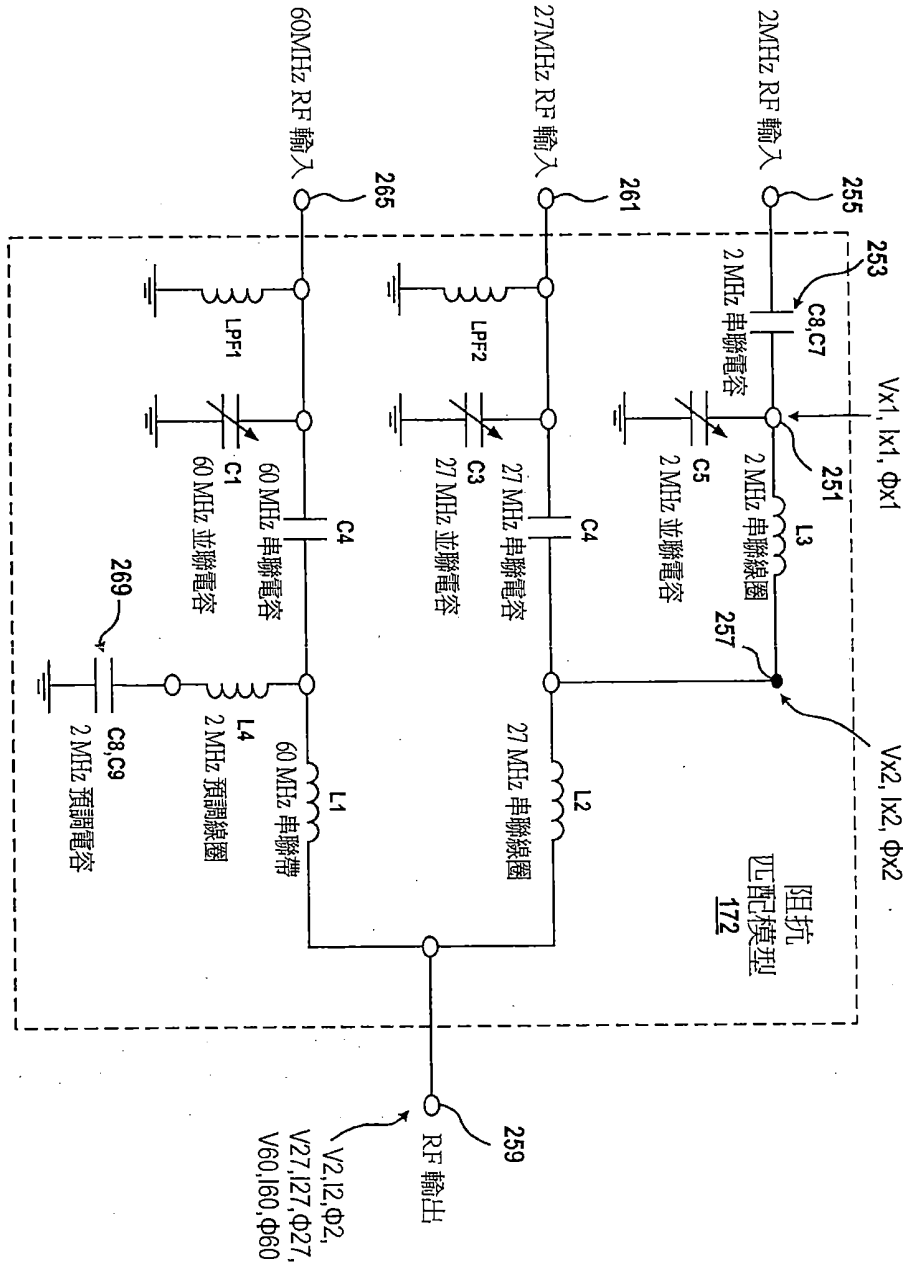


圖 3B

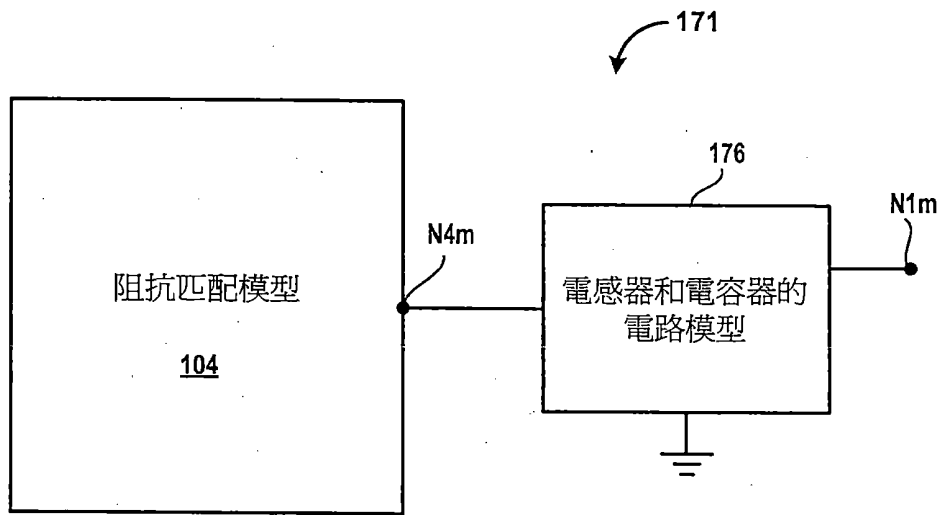


圖 5A

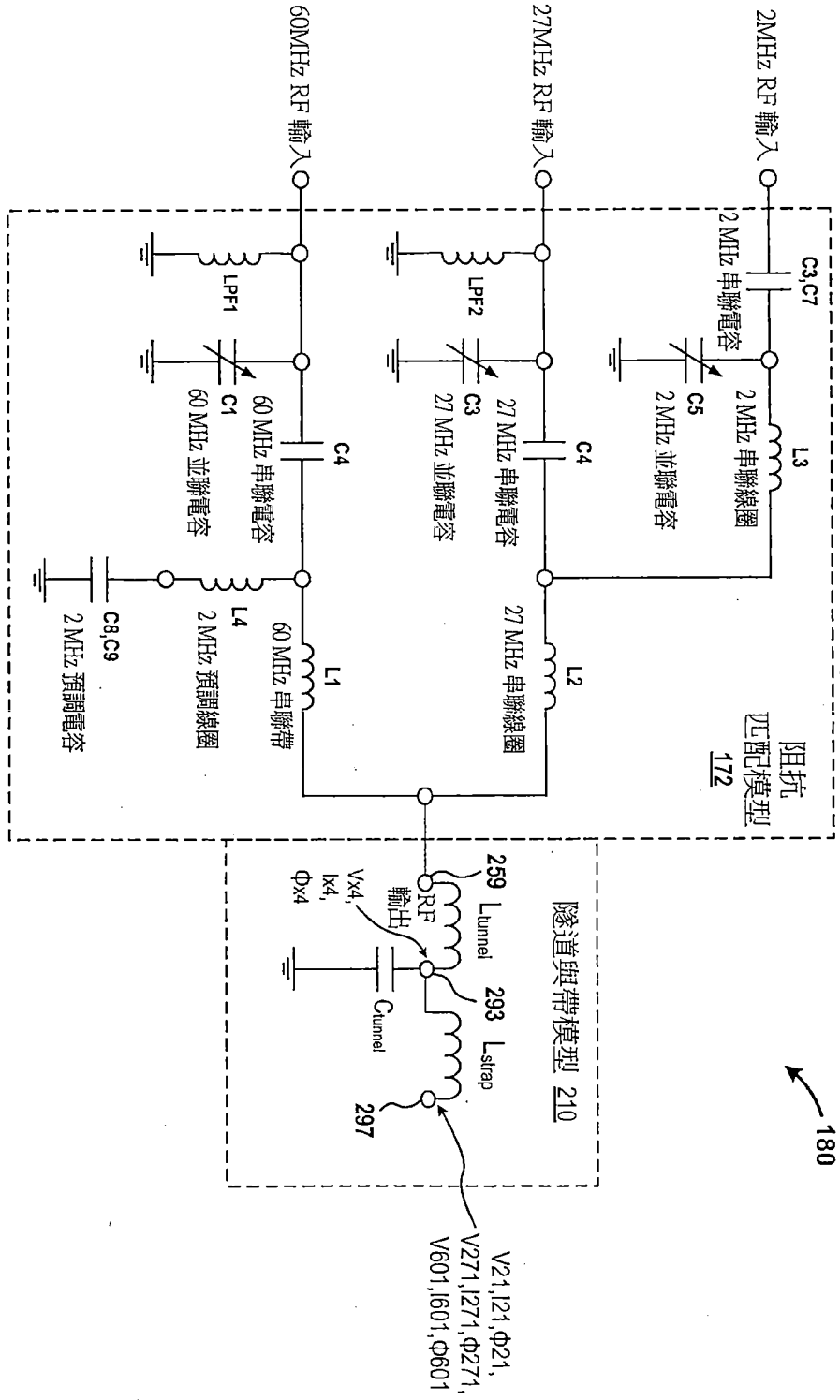


圖 5B

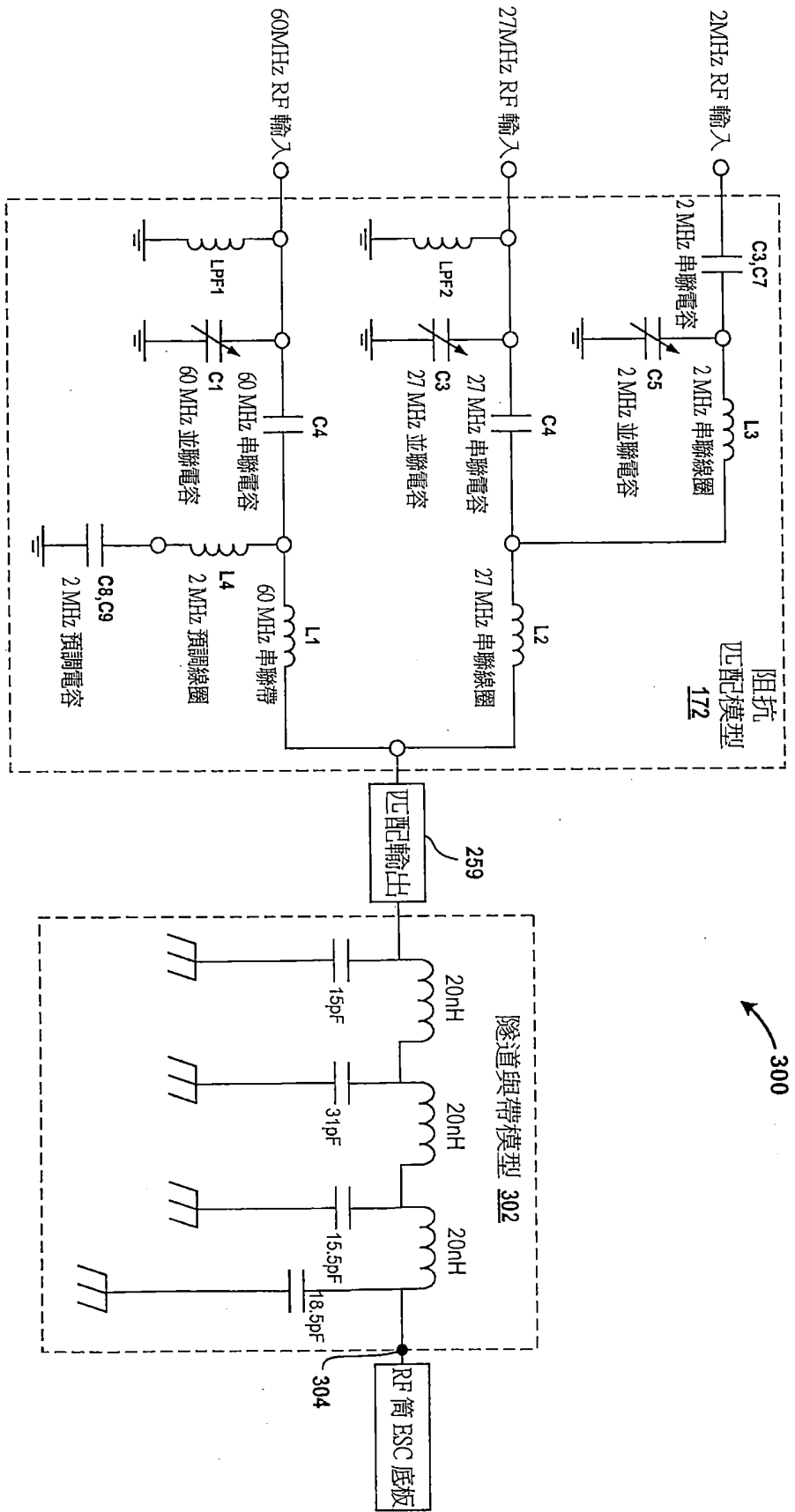


圖 5C

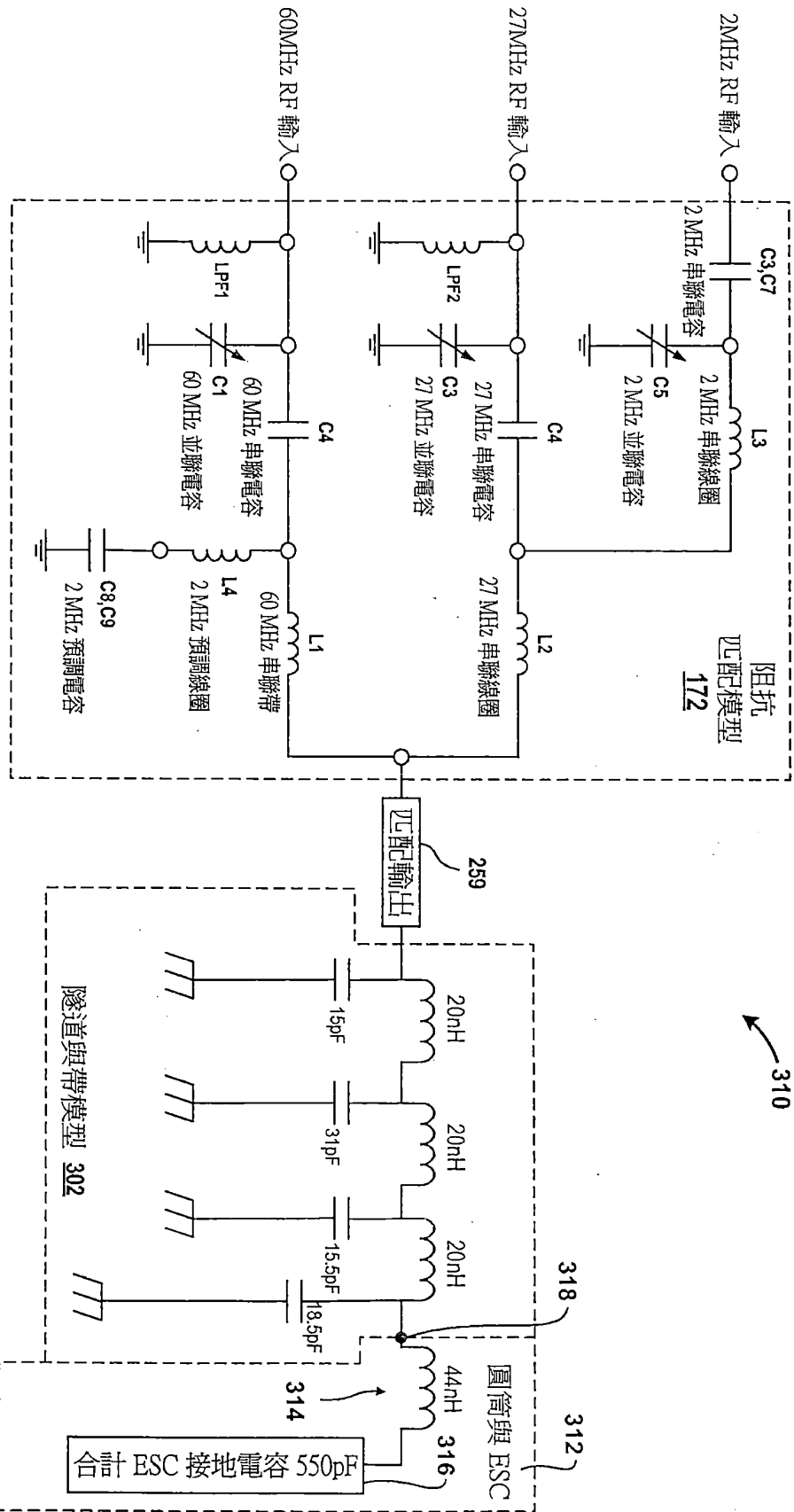


圖 6

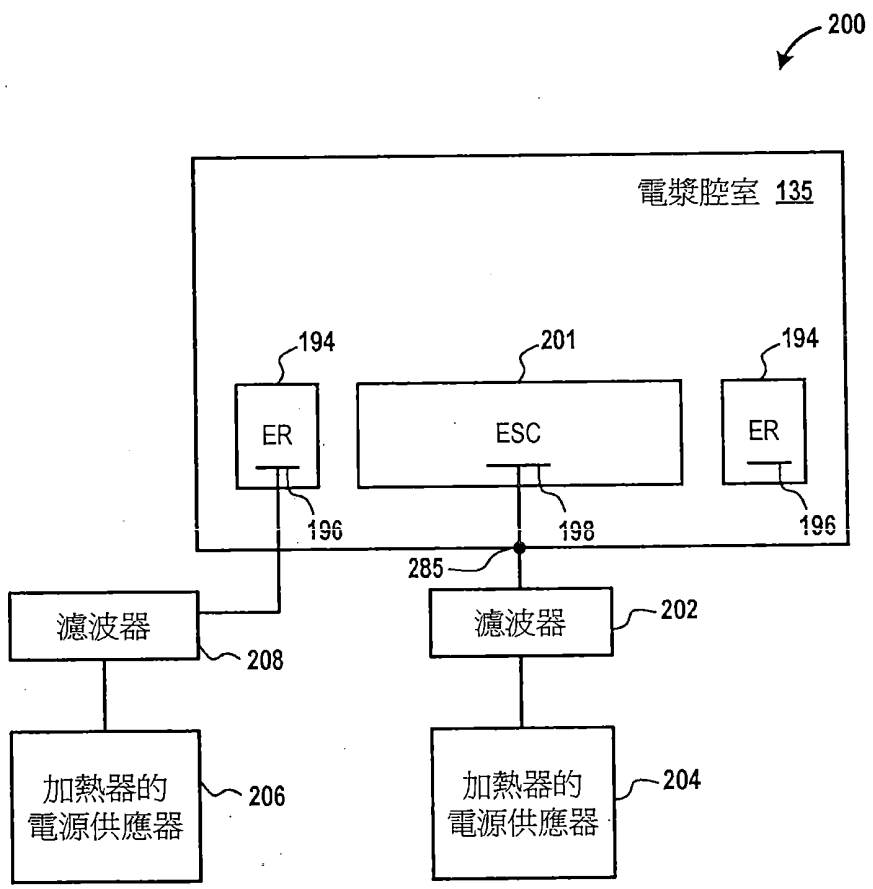


圖 7

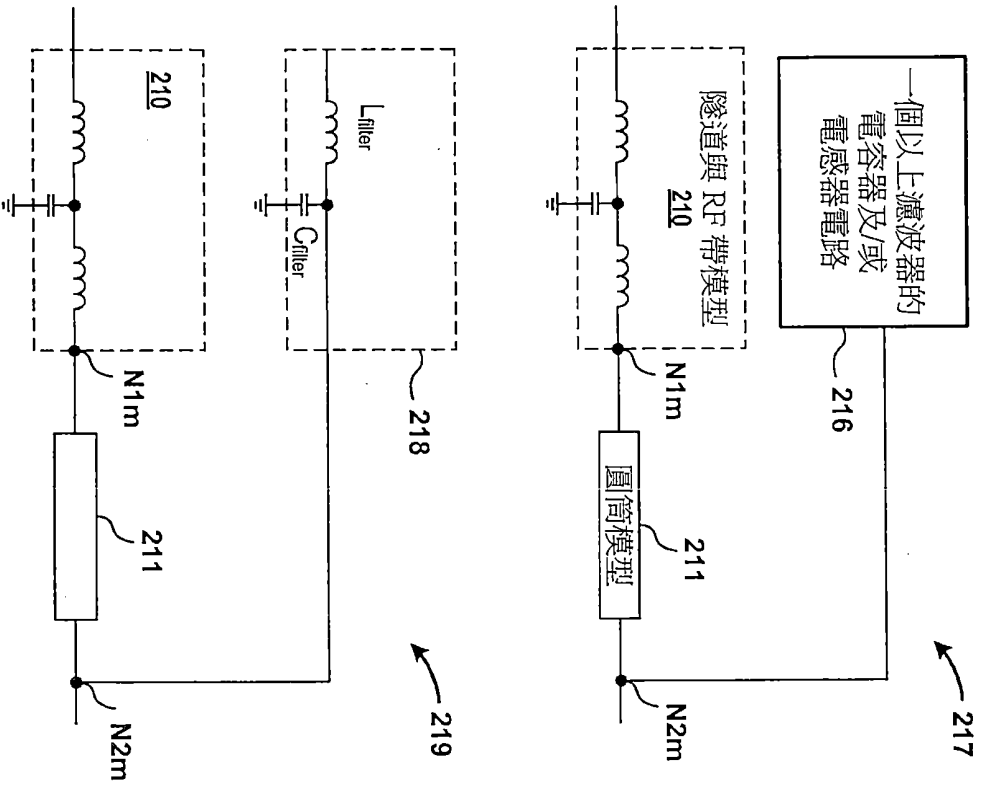


圖 8A

圖 8B

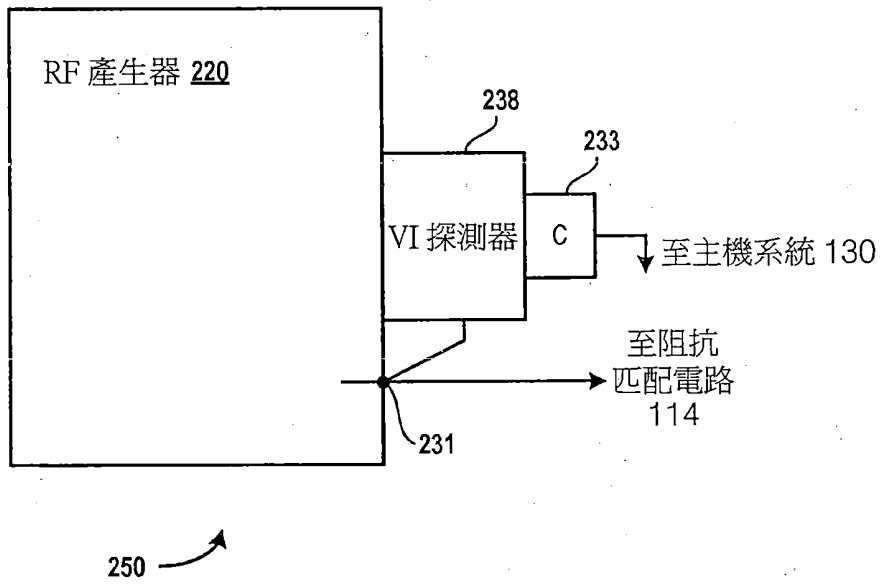


圖 10

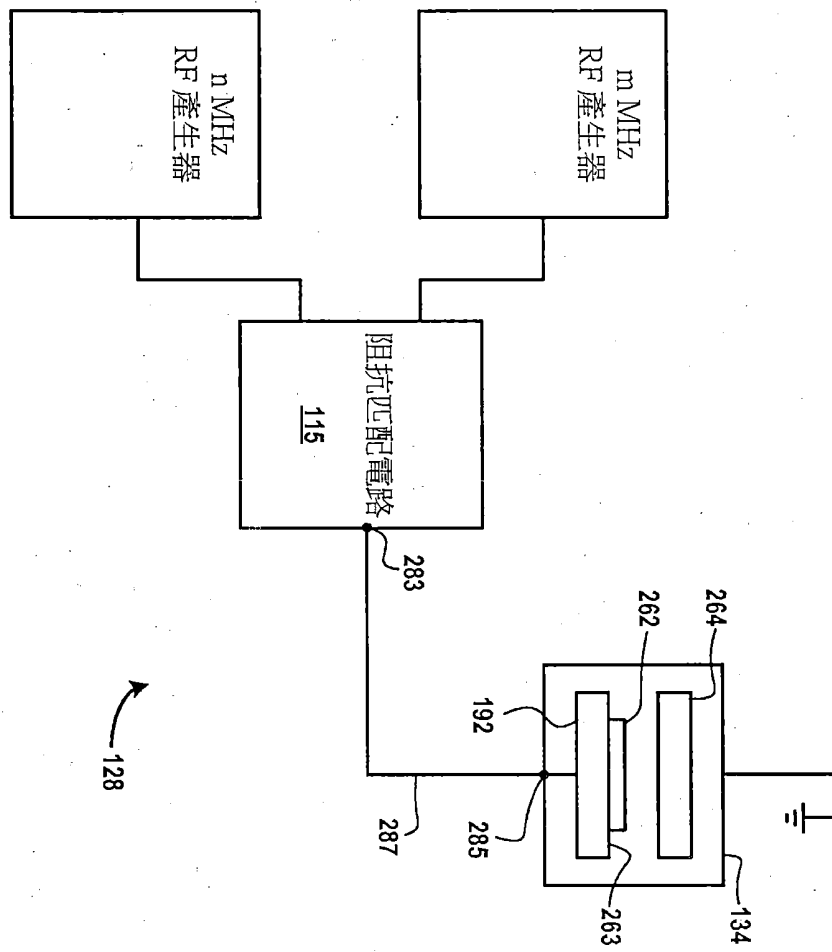


圖 11

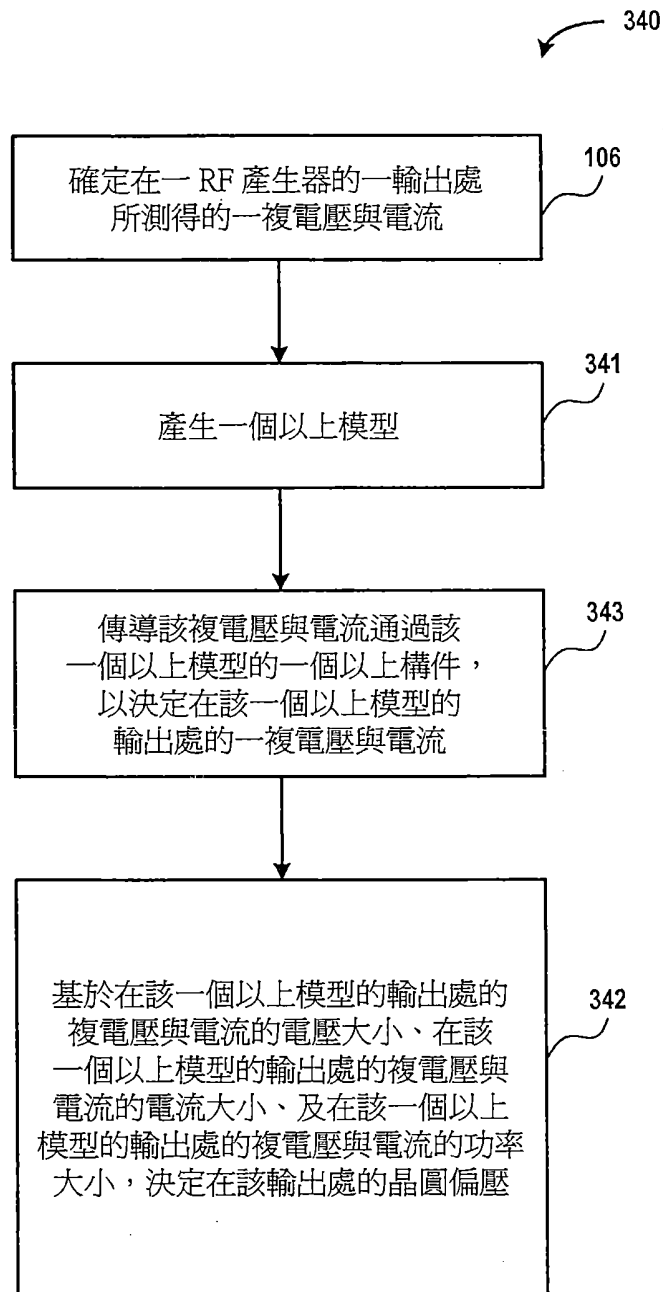


圖 13

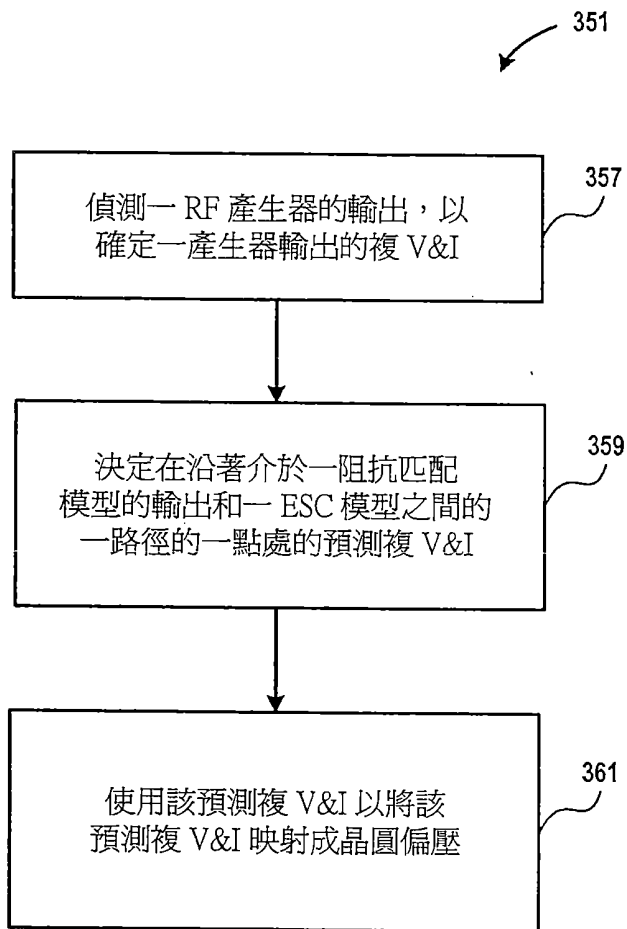


圖 15

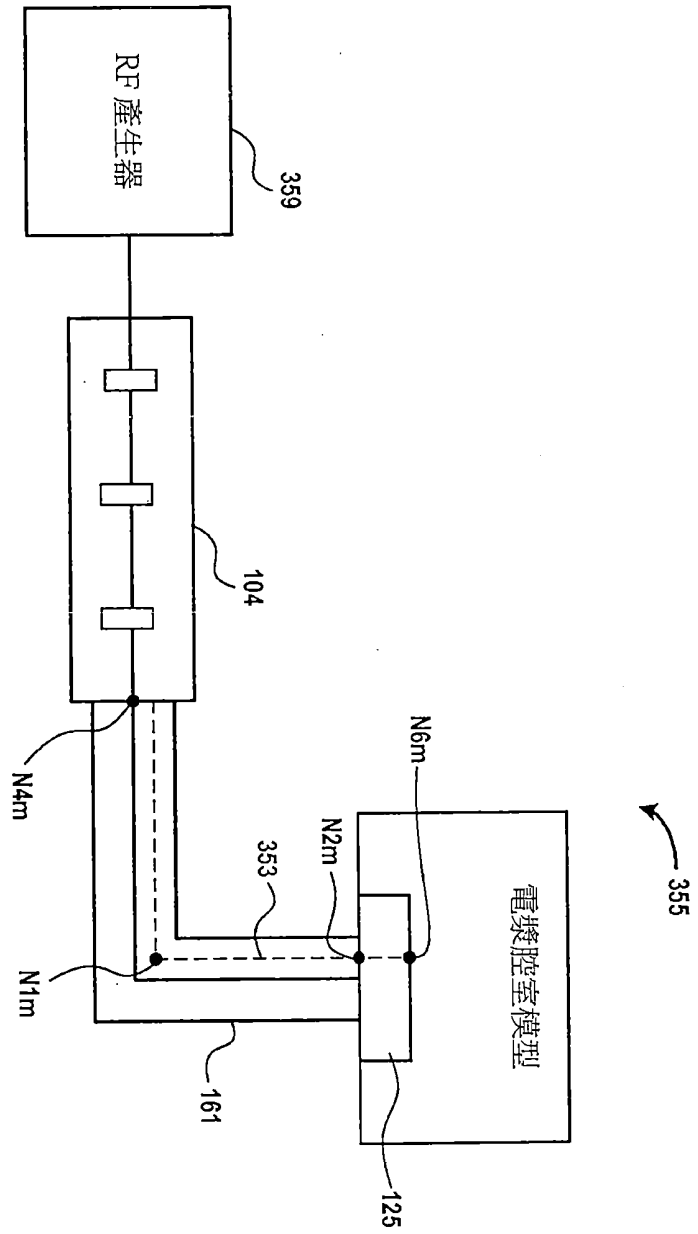


圖 16

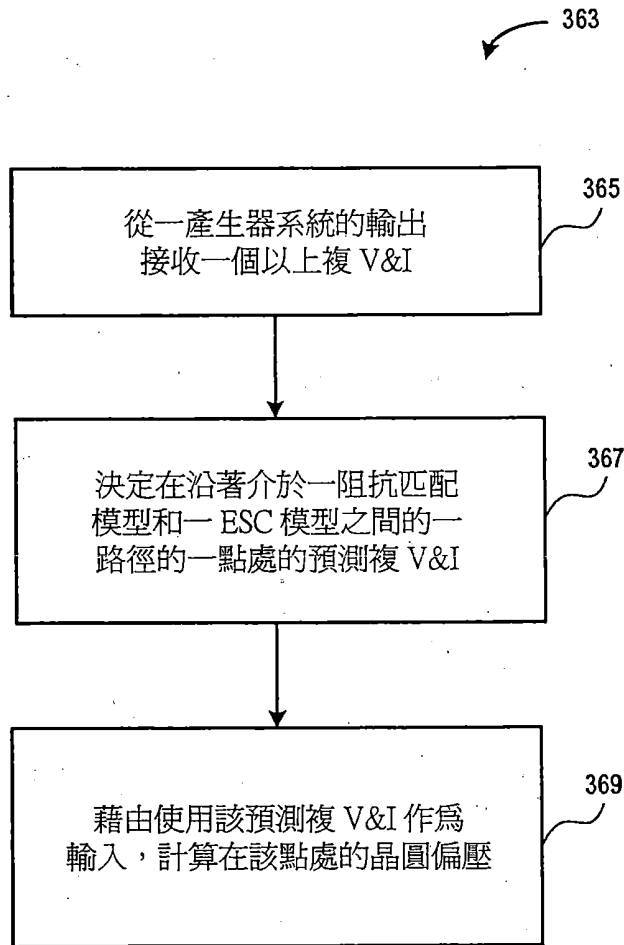


圖 17

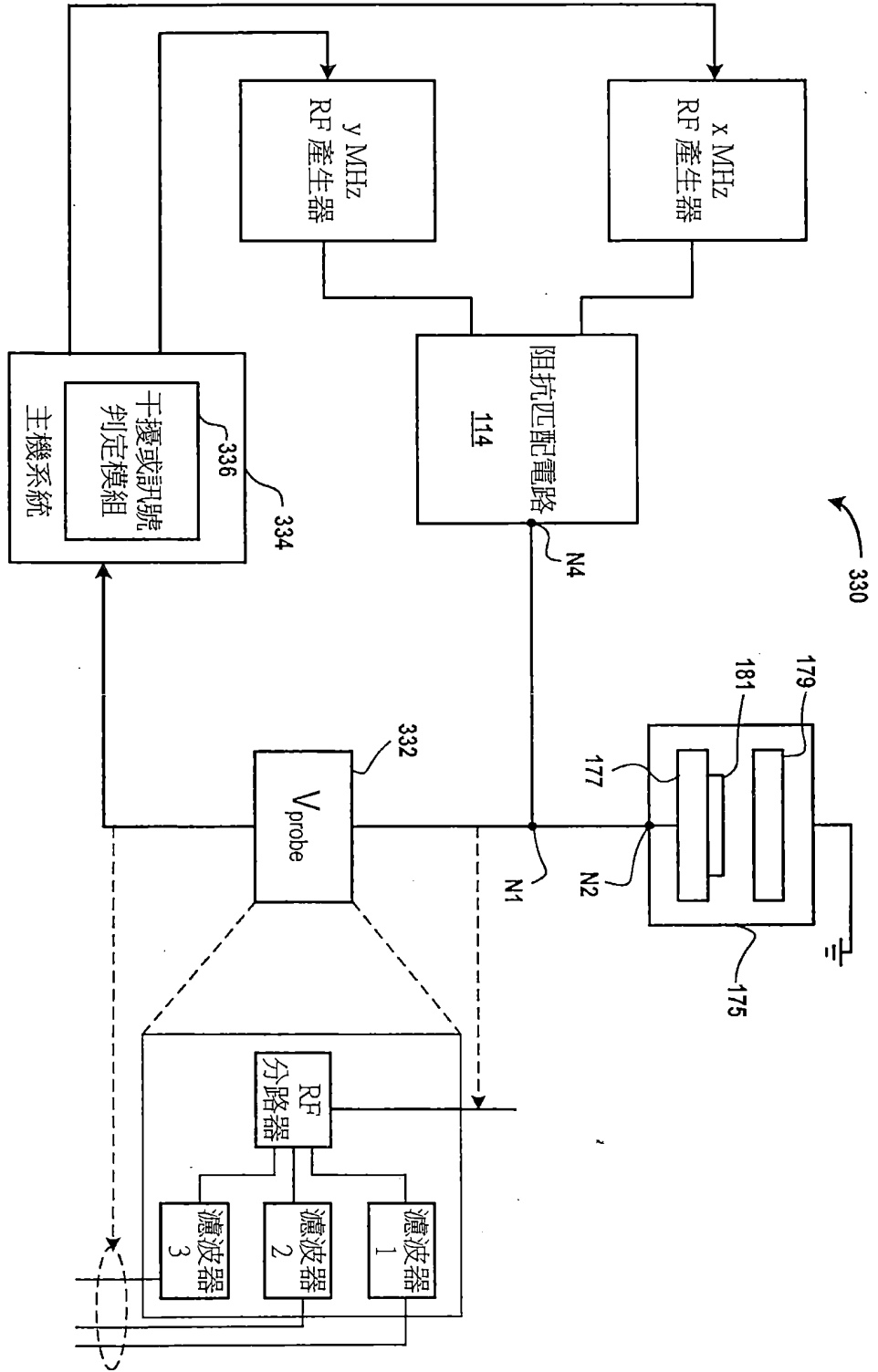


圖 18

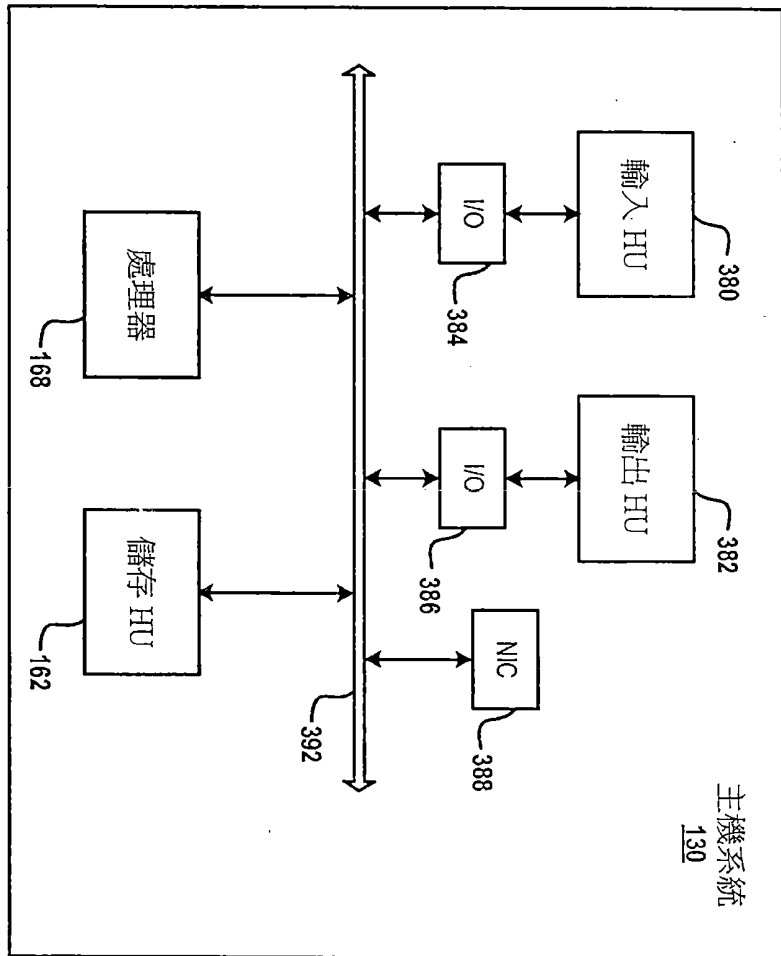


圖 21

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（15）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

351 方法

357、359、361 操作

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

(無)

【0086】 圖 3A 係系統 123 的實施例的方塊圖，系統 123 係用以說明阻抗匹配電路 122。阻抗匹配電路 122 係阻抗匹配電路 114（圖 1）的一個例子。阻抗匹配電路 122 包含多個電元件的串聯連接及/或多個電元件的並聯連接。

【0087】 圖 3B 係阻抗匹配模型 172 的實施例的電路圖。阻抗匹配模型 172 係阻抗匹配模型 104（圖 1）的一個例子。如所顯示，阻抗匹配模型 172 包含具有電容 C1 到 C9 的電容器以及具有電感 LPF1、LPF2、及 L1 到 L4 的電感器。應注意的是，在圖 3B 中該等電感器及/或電容器彼此連接的方式係一範例。舉例來說，在圖 3B 中所顯示的電感器及/或電容器可以串聯及/或並聯方式彼此連接。並且，在若干實施例中，阻抗匹配模型 172 包含與圖 3B 中所顯示不同數量的電容器及/或不同數量的電感器。

【0088】 圖 4 係系統 178 的實施例的圖示，用以說明 RF 傳輸線 181，其係 RF 傳輸線 113（圖 1）的一個例子。RF 傳輸線 181 包含圓筒 148，例如一隧道。絕緣體 190 及 RF 桿 142 位在圓筒 148 的空心部之內。圓筒 148 和 RF 桿 142 的組合，係 RF 傳輸線 113（圖 1）的 RF 傳輸線部分 169（圖 1）的一個例子。RF 傳輸線 181 係藉由螺栓 B1、B2、B3、及 B4 而與阻抗匹配電路 114 加以螺栓連接。在一個實施例中，RF 傳輸線 181 係經由任何數量的螺栓而與阻抗匹配電路 114 加以螺栓連接。在若干實施例中，替代螺栓或在螺栓以外，使用任何其他形式的接合，例如黏著劑、螺絲等等，以將 RF 傳輸線 181 接合至阻抗匹配電路 114。

【0089】 RF 傳輸桿 142 係與阻抗匹配電路 114 的輸出連接。並且，一 RF 帶 144，又稱為 RF 匙，係連接至 RF 桿 142 和 RF 桿 199，RF 桿 199 的一部分係位於支持部 146（例如一圓筒）之內。包含 RF 桿 199 的支持部 146，係 RF 傳輸線部分 195（圖 1）的一個例子。在一個實施例中，圓筒 148、RF 桿 142、RF 帶 144、支持部 146、及 RF 桿 199 的組合形成 RF 傳輸線 181，其係 RF 傳輸線 113（圖 1）的一個例子。支持部 146 對電漿腔室提供支持。支持部 146 係附接至電漿腔室的 ESC 177。RF 訊號係由 x MHz 產生器經由電纜 150、阻抗匹配電路 114、RF 桿 142、RF 帶 144、及 RF 桿 199 供應至 ESC 177。

【0090】 在一個實施例中，ESC 177 包含一加熱構件及在該加熱構件頂部的電極。在一個實施例中，ESC 177 包含加熱構件及下電極。在一個實施例中，ESC 177 包含下電極及在該下電極內所形成的開口內所嵌入的加熱構件，例如線圈線等等。在若干實施例中，電極係由金屬所構成，例如鋁、銅等等。應注意的是，RF 傳輸線 181 將 RF 訊號供應至 ESC 177 的下電極。

【0091】 圖 5A 係系統 171 的實施例的方塊圖，用以說明 RF 傳輸線 113 (圖 1) 的電路模型 176。舉例來說，電路模型 176 包含電感器和/或電容器、該等電感器之間的連接、該等電容器之間的連接、及/或該等電感器和電容器之間的連接。連接的例子包含串聯及/或並聯連接。電路模型 176 係 RF 傳輸模型 161 (圖 1) 的一個例子。

【0092】 圖 5B 係電路 180 的實施例的圖示，用以說明隧道與帶模型 210，其係 RF 傳輸模型 161 (圖 1) 的 RF 傳輸模型部分 173 (圖 1) 的一個例子。電路 180 包含阻抗匹配模型 172 以及隧道與帶模型 210。隧道與帶模型 210 包含電感器 L_{tunnel} 和 L_{strap} 以及電容器 C_{tunnel} 。應注意到的是，電感器 L_{tunnel} 代表圓筒 148 (圖 4) 及 RF 桿 142 的電感，且電容器 C_{tunnel} 代表圓筒 148 及 RF 桿 142 的電容。此外，電感器 L_{strap} 代表 RF 帶 144 (圖 4) 的電感。

【0093】 在一個實施例中，隧道與帶模型 210 包含任何數量的電感器及/或任何數量的電容器。在這個實施例中，隧道與帶模型 210 包含連接一電容器至另一電容器、連接一電容器至一電感器、及/或連接一電感器至另一電感器的任何方式，例如串聯、並聯等等。

【0094】 圖 5C 係電路 300 的實施例的圖示，用以說明隧道與帶模型 302，其係 RF 傳輸模型 161 (圖 1) 的 RF 傳輸模型部分 173 (圖 1) 的一個例子。隧道與帶模型 302 係經由輸出 259 而與阻抗匹配模型 172 連接。隧道與帶模型 302 包含具有電感 20 奈亨利 (nH) 的電感器以及具有 15 微微法拉 (pF)、31 pF、15.5 pF、及 18.5 pF 的電容器。隧道與帶模型 302 係經由節點 304 連接至 RF 筒，該 RF 筒係連接至 ESC 177 (圖 1)。該 RF 筒係 RF 傳輸線部分 195 (圖 1) 的一個例子。

【0095】 應注意的是，在若干實施例中，隧道與帶模型 302 的電感器

222，且使用另一硬體控制器取代參數控制部 224。

【0116】 當接收到功率值 P1 及/或頻率值 F1 之時，參數控制部 222 將該功率值 P1 及/或該頻率值 F1 提供至驅動放大系統 (DAS) 232 的驅動器 228。驅動器的例子包含功率驅動器、電流驅動器、電壓驅動器、電晶體等等。驅動器 228 產生具有該功率值 P1 及/或頻率值 F1 的 RF 訊號，且提供該 RF 訊號至 DAS 232 的放大器 230。

【0117】 在一個實施例中，驅動器 228 產生一 RF 訊號，其具有隨功率值 P1 變化的一驅動功率值，且/或具有隨頻率值 F1 變化的一驅動頻率值。舉例來說，該驅動功率值係在該功率值 P1 的幾瓦 (例如 1 到 5 瓦等等) 之內，且該驅動頻率值係在該頻率值 F1 的幾赫茲 (例如 1 到 5 Hz 等等) 之內。

【0118】 放大器 230 將具有該功率值 P1 及/或該頻率值 F1 的 RF 訊號放大，且產生對應接收自驅動器 228 的 RF 訊號的一 RF 訊號 215。舉例來說，RF 訊號 215 具有與該功率值 P1 相比較高的功率量。作為另一範例，RF 訊號 215 具有與功率值 P1 相同的功率量。RF 訊號 215 經由電纜 223 及阻抗匹配電路 114 傳送至 ESC 177 (圖 1)。

【0119】 電纜 223 係電纜 150 或電纜 152 (圖 1) 的例子。舉例來說，當 RF 產生器 220 係 x MHz RF 產生器 (圖 1) 的一個例子時，電纜 223 係電纜 150 的一個例子，且當 RF 產生器 220 係 y MHz RF 產生器 (圖 1) 的一個例子時，電纜 223 係電纜 152 的一個例子。

【0120】 當將功率值 P1 及/或頻率值 F1 藉由參數控制部 222 提供至 DAS 232 且產生 RF 訊號 215 之時，電壓與電流探測器 238 測量於連接至電纜 223 的輸出 231 處之變數數值。電壓與電流探測器 238 係電壓與電流探測器 110 或電壓與電流探測器 111 (圖 1) 的例子。電壓與電流探測器 238 將變數數值經由通訊裝置 233 傳送至主機系統 130，以供主機系統 130 執行此處所述的方法 102 (圖 2) 及方法 340、351、及 363 (圖 13、15、及 17)。通訊裝置 233 係通訊裝置 185 或 189 (圖 1) 的一個例子。通訊裝置 233 應用一協定 (例如乙太網路、EtherCAT、USB、串列、平行、封包、拆包等等)，以將資料由電壓與電流探測器 238 傳送至主機系統 130。在各種實施

例中，主機系統 130 包含一通訊裝置，其應用通訊裝置 233 所應用的該協定。舉例來說，當通訊裝置 233 應用封包協定，主機系統 130 的通訊裝置應用拆包協定。作為另一範例，當通訊裝置 233 應用一串列傳輸協定時，主機系統 130 的通訊裝置應用一串列傳輸協定。

【0121】 類似地，當接收到功率值 P_0 及/或頻率值 F_0 之時，參數控制部 224 將該功率值 P_0 及/或該頻率值 F_0 提供至驅動器 228。驅動器 228 產生具有該功率值 P_0 及/或頻率值 F_0 的 RF 訊號，且提供該 RF 訊號至放大器 230。

【0122】 在一個實施例中，驅動器 228 產生一 RF 訊號，其具有隨功率值 P_0 變化的一驅動功率值，且/或具有隨頻率值 F_0 變化的一驅動頻率值。舉例來說，該驅動功率值係在該功率值 P_0 的幾瓦（例如 1 到 5 瓦）之內，且該驅動頻率值係在該頻率值 F_0 的幾赫茲（例如 1 到 5 Hz）之內。

【0123】 放大器 230 將具有該功率值 P_0 及/或該頻率值 F_0 的 RF 訊號放大，且產生對應接收自驅動器 228 的 RF 訊號的一 RF 訊號 221。舉例來說，RF 訊號 221 具有與該功率值 P_0 相比較高的功率量。作為另一範例，RF 訊號 221 具有與功率值 P_0 相同的功率量。RF 訊號 221 經由電纜 223 及阻抗匹配電路 114 傳送至 ESC 177（圖 1）。

【0124】 當將功率值 P_0 及/或頻率值 F_0 藉由參數控制部 224 提供至 DAS 232 且產生 RF 訊號 221 之時，電壓與電流探測器 238 測量於輸出 231 處之變數值。電壓與電流探測器 238 將變數值傳送至主機系統 130，以供主機系統 130 執行方法 102（圖 2）、方法 340（圖 13）、方法 351（圖 15）、或方法 363（圖 17）。

【0125】 應注意的是，在一個實施例中，電壓與電流探測器 238 係與 DSP 226 分離。在若干實施例中，電壓與電流探測器 238 係與 DSP 226 相連。更應注意的是，在狀態 S1 期間所產生的 RF 訊號 215 及在狀態 S0 期間所產生的 RF 訊號 221 係一合成 RF 訊號的部分。舉例來說，RF 訊號 215 係具有與 RF 訊號 221 相比較高功率量的合成 RF 訊號的一部分，RF 訊號 221 係該合成 RF 訊號的另一部分。

【0126】 圖 10 係系統 250 的實施例的方塊圖，在系統 250 中電壓與

和模型節點 N1m 處的複電壓與電流的電壓大小的乘積，第二乘積係第二係數和模型節點 N1m 處的複電壓與電流的電流大小的乘積，且第三乘積係第三係數的平方根和模型節點 N1m 處的複電壓與電流的功率大小的平方根的乘積。當 x MHz RF 產生器係開啓且 y MHz 和 z MHz RF 產生器係關閉時，模型節點 N1m 處的晶圓偏壓係表示爲 $ax*Vx + bx*Ix + cx*\sqrt{Px} + dx$ ，其中 ax 係第一係數，bx 係第二係數，cx 係第三係數，dx 係常數，Vx 係在模型節點 N1m 處的電壓大小，Ix 係在模型節點 N1m 處的電流大小，且 Px 係在模型節點 N1m 處的功率大小。

【0159】 類似地，基於模型節點 N1m 處的複電壓與電流且基於 x、y、z MHz RF 產生器何者為開啓，決定晶圓偏壓 $ay*Vy + by*Iy + cy*\sqrt{Py} + dy$ 、 $az*Vz + bz*Iz + cz*\sqrt{Pz} + dz$ 、 $axy*Vx + bxy*Ix + cxy*\sqrt{Px} + dxy*Vy + exy*Iy + fxy*\sqrt{Py} + gxy$ 、 $axz*Vx + bxz*Ix + cxz*\sqrt{Px} + dxz*Vz + exz*Iz + fxz*\sqrt{Pz} + gxz$ 、 $ayz*Vy + byz*Iy + cyz*\sqrt{Py} + dyz*Vz + eyz*Iz + fyz*\sqrt{Pz} + gyz$ 、及 $axyz*Vx + bxyz*Ix + cxyz*\sqrt{Px} + dxyz*Vy + exyz*Iy + fxyz*\sqrt{Py} + gxyz*Vz + hxyz*Iz + ixyz*\sqrt{Pz} + jxyz$ 。

【0160】 作為決定一個以上模型的輸出處的晶圓偏壓的又另一範例，在模型節點 N2m 處的晶圓偏壓係藉由主機系統 130 的處理器，以與基於模型節點 N1m 處所決定的電壓和電流大小決定模型節點 N1m 處的晶圓偏壓類似的方式，基於在模型節點 N2m 處所決定的電壓和電流大小加以決定。為了進一步說明，決定模型節點 N2m 處的晶圓偏壓 $ax*Vx + bx*Ix + cx*\sqrt{Px} + dx$ 、 $ay*Vy + by*Iy + cy*\sqrt{Py} + dy$ 、 $az*Vz + bz*Iz + cz*\sqrt{Pz} + dz$ 、 $axy*Vx + bxy*Ix + cxy*\sqrt{Px} + dxy*Vy + exy*Iy + fxy*\sqrt{Py} + gxy$ 、 $axz*Vx + bxz*Ix + cxz*\sqrt{Px} + dxz*Vz + exz*Iz + fxz*\sqrt{Pz} + gxz$ 、 $ayz*Vy + byz*Iy + cyz*\sqrt{Py} + dyz*Vz + eyz*Iz + fyz*\sqrt{Pz} + gyz$ 、及 $axyz*Vx + bxyz*Ix + cxyz*\sqrt{Px} + dxyz*Vy + exyz*Iy + fxyz*\sqrt{Py} + gxyz*Vz + hxyz*Iz + ixyz*\sqrt{Pz} + jxyz$ 。

【0161】 作為決定一個以上模型的輸出處的晶圓偏壓的另一範例，在模型節點 N6m 處的晶圓偏壓係藉由主機系統 130 的處理器，以與基於模型

節點 N2m 處所決定的電壓和電流大小決定模型節點 N2m 處的晶圓偏壓類似的方式，基於在模型節點 N6m 處所決定的電壓和電流大小加以決定。爲了進一步說明，決定模型節點 N6m 處的晶圓偏壓 $ax*Vx + bx*Ix + cx*\sqrt{Px} + dx$ 、 $ay*Vy + by*Iy + cy*\sqrt{Py} + dy$ 、 $az*Vz + bz*Iz + cz*\sqrt{Pz} + dz$ 、 $axy*Vx + bxy*Ix + cxy*\sqrt{Px} + dxy*Vy + exy*Iy + fxy*\sqrt{Py} + gxy$ 、 $axz*Vx + bxz*Ix + cxz*\sqrt{Px} + dxz*Vz + exz*Iz + fxz*\sqrt{Pz} + gxz$ 、 $ayz*Vy + byz*Iy + cyz*\sqrt{Py} + dyz*Vz + eyz*Iz + fyz*\sqrt{Pz} + gyz$ 、及 $axyz*Vx + bxyz*Ix + cxyz*\sqrt{Px} + dxyz*Vy + exyz*Iy + fxyz*\sqrt{Py} + gxyz*Vz + hxyz*Iz + ixyz*\sqrt{Pz} + jxyz$ 。

【0162】 應注意的是，在若干實施例中，將晶圓偏壓儲存於儲存 HU 162 (圖 1) 之內。

【0163】 圖 14 係狀態圖，描述晶圓偏壓產生器 345 的實施例，晶圓偏壓產生器 345 係實現於主機系統 130 (圖 1) 之內。當所有的 x、y、及 z MHz RF 產生器係關閉，在一模型節點 (例如模型節點 N4m、N1m、N2m、N6m (圖 1) 等等) 處的晶圓偏壓係零或極微小。當 x、y、或 z MHz RF 產生器係開啓且其餘的 x、y、及 z MHz RF 產生器係關閉之時，晶圓偏壓產生器 345 將一模型節點 (例如模型節點 N4m、N1m、N2m、N6m 等等) 處的晶圓偏壓決定爲第一乘積 $a*V$ 、第二乘積 $b*I$ 、第三乘積 $c*\sqrt{P}$ 、及常數 d 的和，其中 V 係該模型節點處的複電壓與電流的電壓大小，I 係複電壓與電流的電流大小，P 係複電壓與電流的功率大小，a 爲一係數，b 爲一係數，c 爲一係數，且 d 爲常數。在各種實施例中，一模型節點處的功率大小係該模型節點處的電流大小和該模型節點處的電壓大小的乘積。在若干實施例中，功率大小係所輸送功率的大小。

【0164】 當 x、y、及 z MHz RF 產生器其中二者係開啓且其餘的 x、y、及 z MHz RF 產生器係關閉之時，晶圓偏壓產生器 345 將於一模型節點 (例如模型節點 N4m、N1m、N2m、N6m 等等) 處的晶圓偏壓決定成第一乘積 $a12*V1$ 、第二乘積 $b12*I1$ 、第三乘積 $c12*\sqrt{P1}$ 、第四乘積 $d12*V2$ 、第五乘積 $e12*I2$ 、第六乘積 $f12*\sqrt{P2}$ 、及常數 g12 的和，其中「V1」係藉由傳導在開啓之該等 RF 產生器的其中第一者的一輸出處所測得的電壓

而決定的該模型節點處的複電壓與電流的電壓大小，「I1」係藉由傳導在開啓之該第一 RF 產生器的該輸出處所測得的電流而決定的複電壓與電流的電流大小，「P1」係決定為 V1 和 I1 的乘積的複電壓與電流的功率大小，「V2」係藉由傳導在開啓之該等 RF 產生器的其中第二者的一輸出處所測得的電壓而決定的該模型節點處的複電壓與電流的電壓大小，「I2」係藉由傳導在開啓之該第二 RF 產生器的該輸出處所測得的電流而決定的複電壓與電流的電流大小，「P2」係決定為 V2 和 I2 的乘積的功率大小，「a12」、「b12」、「c12」、「d12」、「e12」、及「f12」每一者為一係數，且「g12」為常數。

【0165】 當 x、y、及 z MHz RF 產生器全部開啓時，晶圓偏壓產生器 345 將於一模型節點（例如模型節點 N4m、N1m、N2m、N6m 等等）處的晶圓偏壓決定成第一乘積 $a_{123} * V_1$ 、第二乘積 $b_{123} * I_1$ 、第三乘積 $c_{123} * \sqrt{P_1}$ 、第四乘積 $d_{123} * V_2$ 、第五乘積 $e_{123} * I_2$ 、第六乘積 $f_{123} * \sqrt{P_2}$ 、第七乘積 $g_{123} * V_3$ 、第八乘積 $h_{123} * I_3$ 、第九乘積 $i_{123} * \sqrt{P_3}$ 、及常數 j_{123} 的和，其中「V1」係藉由傳導在該等 RF 產生器其中第一者的輸出處所測得的電壓而決定的該模型節點處的複電壓與電流的電壓大小，「I1」係藉由傳導該第一 RF 產生器的該輸出處所測得的電流而決定的複電壓與電流的電流大小，「P1」係決定為 V1 和 I1 的乘積的複電壓與電流的功率大小，「V2」係藉由傳導在該等 RF 產生器的其中第二者的輸出處所測得的電壓而決定的該模型節點處的複電壓與電流的電壓大小，「I2」係藉由傳導在該第二 RF 產生器的該輸出處所測得的電流而決定的複電壓與電流的電流大小，「P2」係決定為 V2 和 I2 的乘積的複電壓與電流的功率大小，「V3」係藉由傳導在該等 RF 產生器的其中第三者的輸出處所測得的電壓而決定的該模型節點處的複電壓與電流的電壓大小，「I3」係藉由傳導在該第三 RF 產生器的該輸出處的電流而決定的複電壓與電流的電流大小，「P3」係決定為 V3 和 I3 的乘積的複電壓與電流的功率大小，「a123」、「b123」、「c123」、「d123」、「e123」、「f123」、「g123」、「h123」、及「i123」每一者為一係數，且「j123」為常數。

【0166】 圖 15 係方法 351 實施例的流程圖，方法 351 用於決定在沿著介於模型節點 N4m（圖 16）和 ESC 模型 125（圖 16）之間的路徑 353（圖

16) 的一點處的晶圓偏壓。圖 15 係參照圖 16 加以描述，圖 16 係系統 355 的實施例的方塊圖，系統 355 係用於決定在一模型的一輸出處的晶圓偏壓。

【0167】 在操作 357 中，偵測 x、y、或 z MHz RF 產生器的輸出，以確定一產生器輸出的複電壓與電流。舉例來說，電壓與電流探測器 110 (圖 1) 量測在節點 N3 (圖 1) 處的複電壓與電流。在此範例中，複電壓與電流係自電壓與電流探測器 110 經由通訊裝置 185 (圖 1) 而由主機系統 130 (圖 1) 加以接收，以儲存於儲存 HU 162 (圖 1) 之內。並且，在此範例中，主機系統 130 的處理器從儲存 HU 162 確定該複電壓與電流。

【0168】 在操作 359 中，主機系統 130 的處理器使用該產生器輸出的複電壓與電流，決定在沿著介於模型節點 N4m 和模型節點 N6m 之間的路徑 353 的一點處的一預測複電壓與電流。路徑 353 從模型節點 N4m 延伸至模型節點 N6m。舉例來說，由在 x MHz RF 產生器、y MHz RF 產生器、或 z MHz RF 產生器的輸出處所測得的複電壓與電流，決定第五複電壓與電流。作為另一範例，在節點 N3 或節點 N5 處所測得的複電壓與電流，係經由阻抗匹配模型 104 加以傳導，以決定在模型節點 N4m (圖 1) 處的複電壓與電流。在此範例中，在模型節點 N4m 處的複電壓與電流，係經由 RF 傳輸模型 161 (圖 16) 的一個以上構件及/或經由 ESC 模型 125 (圖 16) 的一個以上構件加以傳導，以決定在路徑 353 上的一點處的複電壓與電流。

【0169】 在操作 361 中，主機系統 130 的處理器將在路徑 353 上的該點處所決定的預測複電壓與電流使用作為一函數的輸入，以將該預測複電壓與電流映射至 ESC 模型 125 (圖 15) 的節點 N6m 處的晶圓偏壓。舉例來說，當 x、y、或 z MHz RF 產生器係開啓時，將模型節點 N6m 處的晶圓偏壓決定成第一乘積 $a*V$ 、第二乘積 $b*I$ 、第三乘積 $c*\sqrt{P}$ 、及一常數 d 的和，其中 V 為模型節點 N6m 處的預測複電壓與電流的電壓大小，I 為模型節點 N6m 處的預測複電壓與電流的電流大小，P 為模型節點 N6m 處的複電壓與電流的功率大小，a、b、及 c 為係數，且 d 為常數。

【0170】 作為另一範例，當 x、y、及 z MHz RF 產生器其中二者係開啓且其餘的 x、y、及 z MHz RF 產生器係關閉之時，於模型節點 N6m 處的晶圓偏壓係決定為第一乘積 $a12*V1$ 、第二乘積 $b12*I1$ 、第三乘積

【0186】 圖 19A、19B、及 19C 顯示實施例的圖形 328、333、及 337，以說明藉由使用電壓探測器在 RF 傳輸線部分 195（圖 1）的輸出（例如節點 N1）處所測得的電壓（例如峰值電壓等等）與利用方法 102（圖 2）所決定的一對應模型節點輸出（例如節點 N1m）處的電壓（例如峰值電壓等等）之間的相關性（例如線性相關性等等）。在圖形 328、333、及 337 每一者中，所測得的電壓係標繪在 y 軸上，而利用方法 102 所決定的電壓係標繪在 x 軸上。

【0187】 此外，圖 19A、19B、及 19C 顯示實施例的圖形 331、335、及 338，以說明藉由使用晶圓偏壓探測器在輸出 N6（圖 1）處所測得的晶圓偏壓與利用方法 340（圖 13）、方法 351（圖 15）、或方法 363（圖 17）所決定的一對應模型節點輸出（例如節點 N6m）處的晶圓偏壓之間的相關性（例如線性相關性等等）。在圖形 331、335、及 338 每一者中，利用晶圓偏壓探測器所測得的晶圓偏壓係標繪在 y 軸上，而利用方法 340、方法 351、或方法 363 所決定的晶圓偏壓係標繪在 x 軸上。

【0188】 當 y MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓且 x MHz RF 產生器係關閉時，將電壓和晶圓偏壓標繪在圖形 328 和 331 之中。此外，當 x MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓且 y MHz RF 產生器係關閉時，將電壓和晶圓偏壓標繪在圖形 333 和 335 之中。並且，當 x MHz 及 y MHz RF 產生器係開啓且 z MHz RF 產生器係關閉時，將電壓標繪在圖形 337 和 338 之中。

【0189】 圖 20A 係實施例圖形 276 和 278 的圖示，該等圖形說明使用一感測器工具（例如計量工具、探測器、感測器、晶圓偏壓探測器等等）所測得的接線晶圓偏壓、利用方法 340（圖 13）、方法 351（圖 15）、或方法 363（圖 17）所決定的模型晶圓偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間存在相關性。在圖形 276 中所標繪的接線晶圓偏壓係在一點（例如 RF 傳輸線 133 上的一節點、ESC 177 的上表面 183（圖 1）上的一節點等等）處加以量測，且在圖形 276 所標繪的該模型偏壓係在路徑 353（圖 16）上的對應模型點處（例如模型節點 N4m、模型節點 N1m、模型節點 N2m、模型節點 N6m 等等（圖 1））加以決定。接線晶圓偏壓係沿著圖形 276 中的 y 軸加以標繪，且模型偏壓係沿著圖形 276 中的 x 軸加以標繪。

【0190】 當 x MHz RF 產生器係開啓且 y MHz 和 z MHz RF 產生器係關閉之時，將接線晶圓偏壓及模型偏壓標繪於圖形 276 之中。此外，利用等式 $a_2 \cdot V_2 + b_2 \cdot I_2 + c_2 \cdot \sqrt{P_2} + d_2$ 決定圖形 276 的模型偏壓，其中「*」表示乘，「sqrt」表示平方根，「V₂」表示沿著路徑 353（圖 16）的該點處的電壓，I₂ 表示在該點處的電流，P₂ 表示在該點處的功率，「a₂」係一係數，「b₂」係一係數，「c₂」係一係數，且「d₂」係一常數。

【0191】 圖形 278 將一誤差標繪於 y 軸上，且將在該點處的模型偏壓標繪在 x 軸上，該誤差為在該點處的模型偏壓的誤差。該模型誤差係在模型偏壓中的一誤差，例如變異數、標準差等等。當 x MHz RF 產生器係開啓且 y MHz 和 z MHz RF 產生器係關閉之時，將模型誤差和模型偏壓標繪於圖形 278 之中。

【0192】 圖 20B 係實施例的圖形 280 及 282 的圖示，用以說明一接線晶圓偏壓、利用方法 340（圖 13）、方法 351（圖 15）、或方法 363（圖 17）所決定的一模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間存在相關性。圖形 280 及 282 係以類似於圖形 276 及 278（圖 20A）的方式加以標繪，除了圖形 280 及 282 係在 y MHz RF 產生器係開啓且 x MHz 和 z MHz RF 產生器係關閉之時加以標繪。此外，利用等式 $a_{27} \cdot V_{27} + b_{27} \cdot I_{27} + c_{27} \cdot \sqrt{P_{27}} + d_{27}$ 決定圖形 280 及 282 的模型偏壓，其中「V₂₇」表示沿著路徑 353（圖 16）的該點處的電壓大小，「I₂₇」表示在該點處的電流大小，「P₂₇」表示在該點處的功率大小，「a₂₇」為一係數，「b₂₇」為一係數，「c₂₇」為一係數，且「d₂₇」為一常數。

【0193】 圖 20C 係實施例的圖形 284 及 286 的圖示，用以說明一接線晶圓偏壓、利用方法 340（圖 13）、方法 351（圖 15）、或方法 363（圖 17）所決定的一模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間存在相關性。圖形 284 及 286 係以類似於圖形 276 及 278（圖 20A）的方式加以標繪，除了圖形 284 及 286 係在 z MHz RF 產生器係開啓且 x MHz 和 y MHz RF 產生器係關閉之時加以標繪。此外，利用等式 $a_{60} \cdot V_{60} + b_{60} \cdot I_{60} + c_{60} \cdot \sqrt{P_{60}} + d_{60}$ 決定圖形 284 及 286 的模型偏壓，其中「V₆₀」表示沿著路徑 353（圖 16）的該點處的電壓大小，「I₆₀」表示在該點處的電流大小，「P₆₀」表示在

該點處的功率大小，「a60」為一係數，「b60」為一係數，「c60」為一係數，且「d60」為一常數。

【0194】 圖 20D 係實施例的圖形 288 及 290 的圖示，用以說明一接線晶圓偏壓、利用方法 340 (圖 13)、方法 351 (圖 15)、或方法 363 (圖 17) 所決定的一模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間存在相關性。圖形 288 及 290 係以類似於圖形 276 及 278 (圖 20A) 的方式加以標繪，除了圖形 288 及 290 係在 x MHz 及 y MHz RF 產生器係開啓且 z MHz RF 產生器係關閉之時加以標繪。此外，利用等式 $a_{227} * V_2 + b_{227} * I_2 + c_{227} * \sqrt{P_2} + d_{227} * V_{27} + e_{227} * I_{27} + f_{227} * \sqrt{P_{27}} + g_{227}$ 決定圖形 288 及 290 的模型偏壓，其中「a227」、「b227」、「c227」、「d227」、「e227」、及「f227」為係數，且「g227」為一常數。

【0195】 圖 20E 係實施例的圖形 292 及 294 的圖示，用以說明一接線晶圓偏壓、利用方法 340 (圖 13)、方法 351 (圖 15)、或方法 363 (圖 17) 所決定的一模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間存在相關性。圖形 292 及 294 係以類似於圖形 276 及 278 (圖 20A) 的方式加以標繪，除了圖形 292 及 294 係在 x MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓且 y MHz RF 產生器係關閉之時加以標繪。此外，利用等式 $a_{260} * V_2 + b_{260} * I_2 + c_{260} * \sqrt{P_2} + d_{260} * V_{60} + e_{260} * I_{60} + f_{260} * \sqrt{P_{60}} + g_{260}$ 決定圖形 292 及 294 的模型偏壓，其中「a260」、「b260」、「c260」、「d260」、「e260」、及「f260」為係數，且「g260」為一常數。

【0196】 圖 20F 係實施例的圖形 296 及 298 的圖示，用以說明一接線晶圓偏壓、利用方法 340 (圖 13)、方法 351 (圖 15)、或方法 363 (圖 17) 所決定的一模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間存在相關性。圖形 296 及 298 係以類似於圖形 276 及 278 (圖 20A) 的方式加以標繪，除了圖形 296 及 298 係在 y MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓且 x MHz RF 產生器係關閉之時加以標繪。此外，利用等式 $a_{2760} * V_{27} + b_{2760} * I_{27} + c_{2760} * \sqrt{P_{27}} + d_{2760} * V_{60} + e_{2760} * I_{60} + f_{2760} * \sqrt{P_{60}} + g_{2760}$ 決定圖形 296 及 298 的模型偏壓，其中「a2760」、「b2760」、「c2760」、「d2760」、「e2760」、及「f2760」為係數，且「g2760」為一常數。

【0197】 圖 20G 係實施例的圖形 303 及 305 的圖示，用以說明一接線晶圓偏壓、利用方法 340 (圖 13)、方法 351 (圖 15)、或方法 363 (圖 17) 所決定的一模型偏壓、及在該模型偏壓中的誤差之間存在相關性。圖形 303 及 305 係以類似於圖形 276 及 278 (圖 12A) 的方式加以標繪，除了圖形 303 及 305 係在 x MHz、y MHz 及 z MHz RF 產生器係開啓之時加以標繪。此外，利用等式 $a22760 * V2 + b22760 * I2 + c22760 * \sqrt{P2} + d22760 * V60 + e22760 * I60 + f22760 * \sqrt{P60} + g22760 * V27 + h22760 * I27 + i22760 * \sqrt{P27} + j22760$ 決定圖形 303 及 305 的模型偏壓，其中「a22760」、「b22760」、「c22760」、「d22760」、「e22760」、「f22760」、「g22760」、「h22760」、及「i22760」為係數，且「j22760」為一常數。

【0198】 圖 21 係主機系統 130 的實施例的方塊圖。主機系統 130 包含處理器 168、儲存 HU 162、輸入 HU 380、輸出 HU 382、輸入/輸出 (I/O) 介面 384、I/O 介面 386、網路介面控制器 (NIC) 388、及匯流排 392。處理器 168、儲存 HU 162、輸入 HU 380、輸出 HU 382、I/O 介面 384、I/O 介面 386、及 NIC 388 係透過匯流排 392 彼此連接。輸入 HU 380 的例子包含滑鼠、鍵盤、觸控筆 (stylus) 等等。輸出 HU 382 的例子包含顯示器、揚聲器、或其組合。顯示器可為液晶顯示器、發光二極體顯示器、陰極射線管、電漿顯示器等等。NIC 388 的例子包含網路介面卡、網路配接器等等。

【0199】 I/O 介面的例子包含一介面，其提供連接至該介面的數個硬體件之間的相容性。舉例來說，I/O 介面 384 將接收自輸入 HU 380 的訊號轉換成與匯流排 392 相容的形式、振幅、及/或速度。作為另一範例，I/O 介面 386 將接收自匯流排 392 的訊號轉換成與輸出 HU 382 相容的形式、振幅、及/或速度。

【0200】 應注意到，在若干實施例中，使用晶圓偏壓以決定用以將工件 131 (圖 1) 夾持於 ESC 177 (圖 1) 的夾持電壓。舉例來說，當電漿腔室 175 (圖 1) 不存在晶圓偏壓時，在 ESC 177 之內之二個電極具有具相反極性的匹配電壓，以將工件 131 夾持於 ESC 177。在此範例中，當在電漿腔室 175 之內存在晶圓偏壓時，供應至該二個電極的電壓係大小不同，以抵銷晶圓偏壓的存在。在各種實施例中，使用晶圓偏壓以抵銷在 ESC 177 (圖

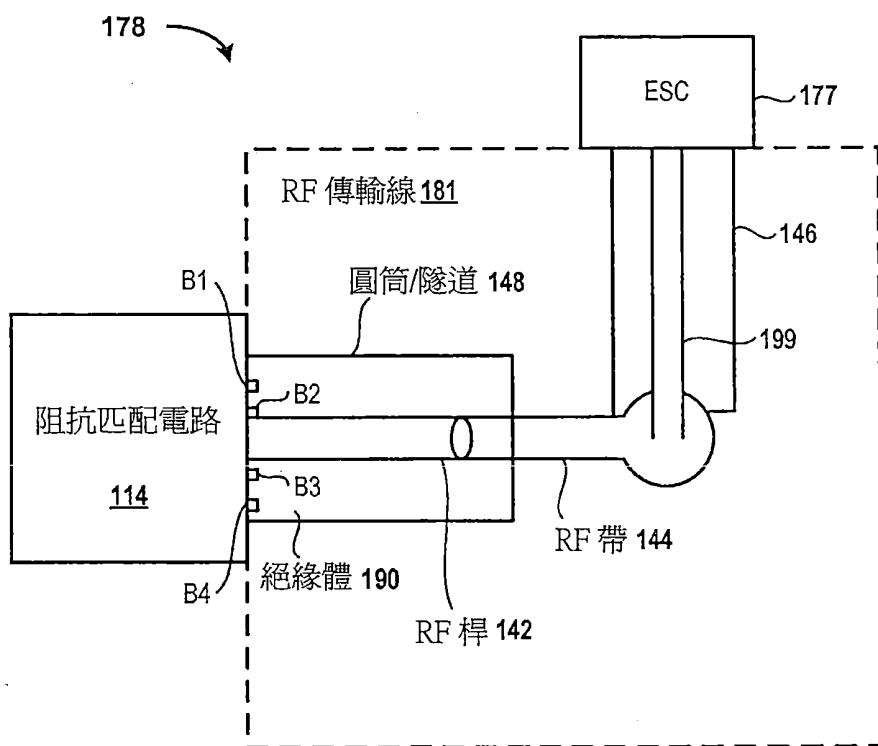


圖 4

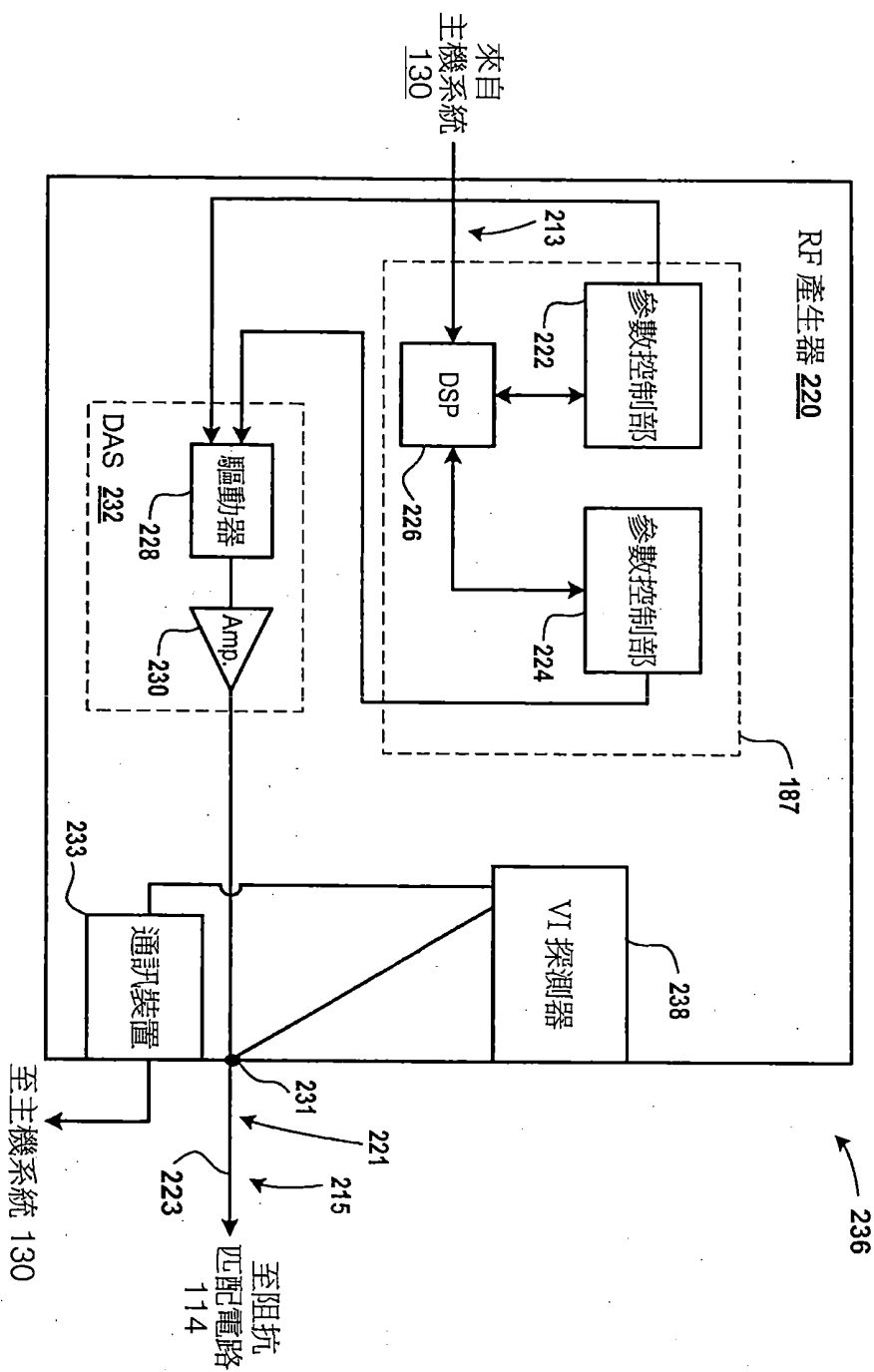


圖 9

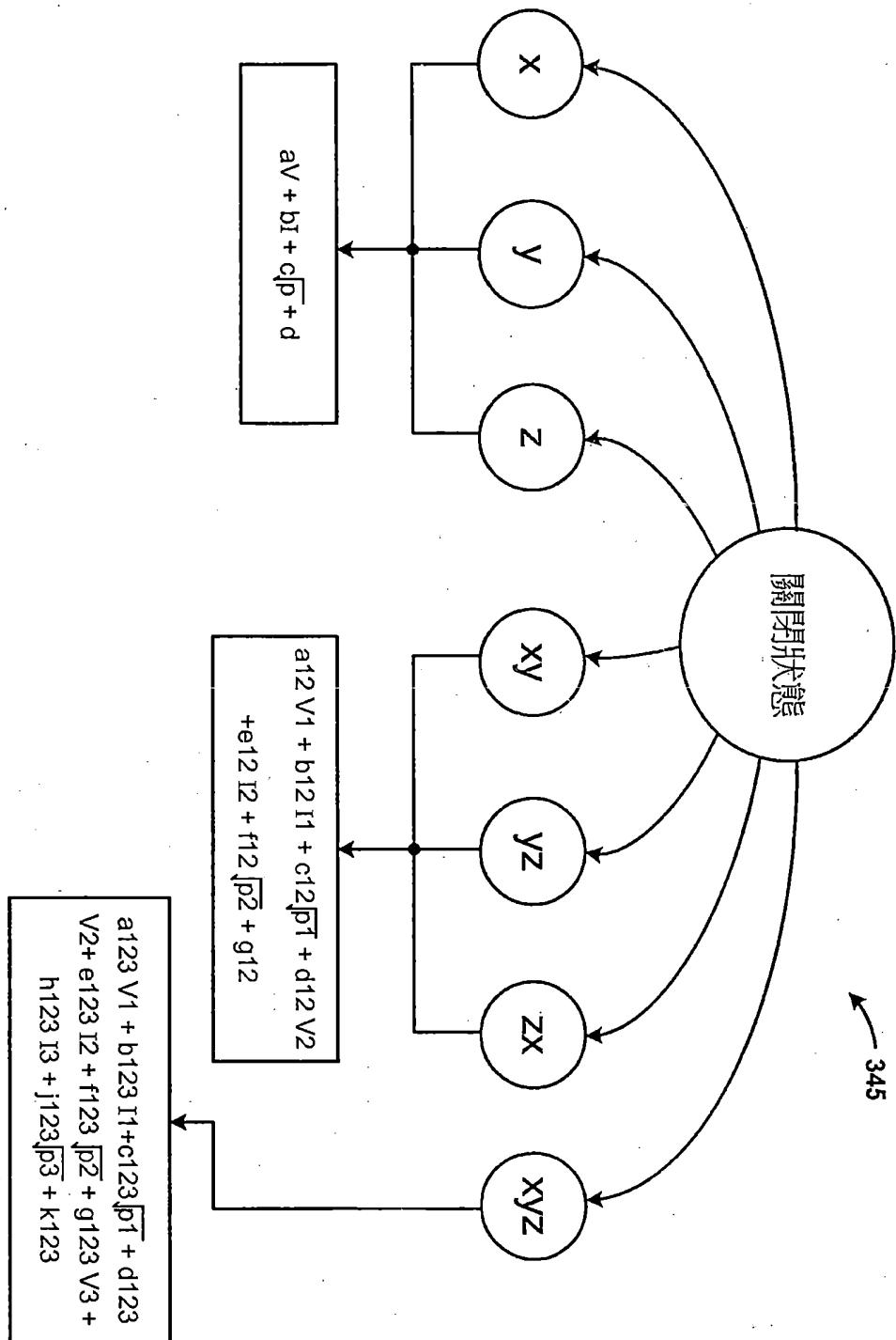


圖 14